

DER IONISATIONSGRAD DES CALCIUMS
IM BLUT VERSCHIEDENER TIERSPEZIES:
SEINE ÄNDERUNG DURCH LAGERUNG
UNTER VERSCHIEDENEN
BEDINGUNGEN,
DEN KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK,
DIE WASSERSTOFFIONEN-
KONZENTRATION UND DIE
NAHRUNGS-AUFNAHME

Robert Scheibenhoffer

*Dis.
München
1904*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554007_0012

Aus dem Physiologischen Institut der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. G. ten Bruggencate

Prof. Dr. E. Gerlach

Prof. Dr. K. Thureau

vorgelegt über das

Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und
Ernährungsphysiologie der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Geschäftsführender Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

Angefertigt unter der Leitung von Prof. Dr. M. Merckenschlager

DER IONISATIONSGRAD DES CALCIUMS IM BLUT VERSCHIEDENER
TIERSPEZIES: SEINE ÄNDERUNG DURCH LAGERUNG UNTER VERSCHIEDE-
NEN BEDINGUNGEN, DEN KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK, DIE WASSER-
STOFFIONENKONZENTRATION UND DIE NAHRUNGS-AUFNAHME

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von

Robert Scheibenhoffer

aus

Dettishoffen

München 1983

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. W. Leidl

Referent: Prof. Dr. M. Merckenschlager

Korreferent: Prof. Dr. K. Tempel

Tag der Promotion: 24. Februar 1984

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2. SCHRIFTTUM	2
2.1. ALLGEMEINES	2
2.2. CALCIUMFRAKTIONEN IM EXTRAZELLULÄRRaum	2
2.3. REGULATION DES CALCIUMSTOFFWECHSELS	3
2.3.1. Parathormon	3
2.3.2. Cholecalciferol	3
2.3.3. Calcitonin	4
2.4. CALCIUMSTOFFWECHSELSTÖRUNGEN	5
2.5. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER VERSCHIEDENEN CALCIUM-FRAKTIONEN DES BLUTES	5
2.5.1. Gesamtcalcium	5
2.5.1.1. Chemische Methoden	6
2.5.1.2. Physikalische Methoden	7
2.5.2. Ultrafiltrierbares, protein- und komplex- gebundenes Calcium	9
2.5.3. Ionisiertes Calcium	10
2.5.3.1. Biologische Verfahren	10
2.5.3.2. Chemische Methoden	11
2.5.3.3. Ionenselektive Elektroden	11
2.5.3.4. Kalkulation des ionisierten Calciums aus dem gemessenen Gesamtcalciumgehalt	12
2.6. METHODISCHE UND PHYSIOLOGISCHE FAKTOREN, DIE DEN CALCIUMGEHALT EINER PROBE BEEINFLUSSEN	13
2.6.1. Blutentnahmestreß und Transportstreß	13
2.6.2. Beeinflussung der Gesamtcalciumkonzentration und des ionisierten Calciums durch die Verwen- dung von Antikoagulantien	14
2.6.3. Anaerobe Blutentnahme	15
2.6.4. Venenstau und Körperlage	15
2.6.5. Lagerungsdauer, Lagerungstemperatur und Calcium	16

	Seite
2.6.6. Wasserstoffionenkonzentration und Calcium	17
2.6.7. Beeinflussung der Calciumfraktionen durch den Proteingehalt	18
2.6.8. Tageszeitliche und altersabhängige Veränderungen des Calciumgehaltes	19
2.6.9. Einfluß der Nahrungsaufnahme und der Nahrungszusammensetzung auf den Gehalt an Gesamtcalcium und ionisiertem Calcium	20
2.6.10. Gravidität und Calcium	21
2.6.11. Einfluß einer Enteritis auf den Calciumhaushalt	21
2.6.12. Calcium und Dysfunktion der Parathyreoidea	22
2.7. CALCIUMFRAKTIONEN BEIM GEFLÜGEL	22
2.8. CALCIUMFRAKTIONEN IM VOLLBLUT, PLASMA UND SERUM VERSCHIEDENER SPEZIES	23
2.9. SÄURE-BASEN-HAUSHALT	33
2.9.1. Blutprobenentnahme	33
2.9.2. Einflüsse der Lagerung	34
2.9.3. Blutentnahmestreß	36
2.9.4. Antikoagulantien	36
3. MATERIAL UND METHODIK	37
3.1. TIERE	37
3.2. BLUTENTNAHME, TRANSPORT UND LAGERUNG DER BLUTPROBEN	37
3.3. NAHRUNGS-AUFNAHME	38
3.4. VERWENDETE GERÄTE	39
3.5. RECHNERISCHE AUSWERTUNG UND DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE	40
3.6. TONOMETRIE	40
3.7. CALCIUM-MESSUNGEN	41
3.7.1. Ionisiertes Calcium	41
3.7.2. Gesamtcalcium	42
3.8. BLUTGASMESSUNG	43

3.9.	MESSGENAUIGKEIT BEI DER BESTIMMUNG VERSCHIEDENER PARAMETER	44
3.10.	VERGLEICH EINZELNER BESTIMMUNGSMETHODEN BZW. GERÄTE	45
3.10.1.	Bestimmung der Säure-Basen-Parameter pH und pCO_2 mit zwei verschiedenen Blutgasanalyatoren: AVL 940 und IL 1303	45
3.10.2.	Bestimmung des ionisierten Calciums mit zwei verschiedenen Calciumanalyzern: AVL 980 und Orion SS-20	45
3.10.3.	Bestimmung des Gesamtcalciums mittels Atomabsorption bzw. EGTA-Titration	46
4.	ERGEBNISSE	47
4.1.	NORMALWERTE FÜR GESAMTCALCIUM UND IONISIERTES CALCIUM UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON pH UND pCO_2 IM VENENBLUT VERSCHIEDENER TIERARTEN	47
4.2.	EINFLUSS DER LAGERUNGSDAUER UND DER LAGERUNGSTEMPERATUR AUF DEN GEGHALT AN GESAMTCALCIUM UND IONISIERTES CALCIUM IM KÄLBERBLUT (PLASMA UND VOLLBLUT) UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON pH UND KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK	51
4.3.	EINFLUSS DER LAGERUNGSDAUER BEI 4°C AUF DEN GESAMTCALCIUMGEGHALT, DAS IONISIERTE CALCIUM UND DEN PROZENTUALEN ANTEIL DES IONISIERTEN CALCIUMS IN VOLLBLUTPROBEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON pH UND KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK	55
4.4.	AUSWIRKUNGEN DER NAHRUNGS-AUFNAHME AUF GESAMTCALCIUM UND IONISIERTES CALCIUM UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON WASSERSTOFFIONENKONZENTRATION UND pCO_2	60
4.5.	BEGASUNG EINER BLUTPROBE MIT UNTERSCHIEDLICHEN KOHLENDIOXIDKONZENTRATIONEN UND DEREN AUSWIRKUNG AUF GESAMTCALCIUM, IONISIERTES CALCIUM UND PROZENTUALEN ANTEIL DES IONISIERTEN CALCIUMS	62
5.	DISKUSSION	72
5.1.	VERGLEICH DER ERGEBNISSE	73
5.2.	LAGERUNG VON KÄLBERBLUT UND PLASMA BEI 4°C BZW. BEI RAUMTEMPERATUR (28°C)	75

	Seite
5.3. LAGERUNG HEPARINISierter VOLLBLUTPROBEN BEI 4°C	76
5.4. EINFLUSS DER NAHRUNGSaufNAHME auf DAS GE- SAMTCALCIUM UND DAS IONISIERTE CALCIUM IM VENÖSEN BLUT BEI MASTKÄLBERN, ZWERGZIEGEN UND Ferkeln	79
5.5. EINFLUSS DER BEGASUNG	80
5.6. IONISIERTES CALCIUM IM VOLLBLUT UND IM PLASMA	81
6. ZUSAMMENFASSUNG	82
SUMMARY	84
7. LITERATUR	86

Abkürzungsverzeichnis

AAS	:	Atomabsorptionsspektrometer
FEP	:	Flammenemissionsphotometer
G/V	:	Gewicht / Volumen
EDTA	:	Äthylendiaminotetraessigsäure
EGTA	:	Äthylenglykoltetraessigsäure
PTH	:	Parathormon
25-HCC	:	25-Hydroxycholecalciferol
1,25-DHCC	:	1,25-Dihydroxycholecalciferol
CT	:	Calcitonin
h	:	Planck'sches Wirkungsquantum
ν	:	Frequenz
c	:	Lichtgeschwindigkeit
λ	:	Wellenlänge
HF	:	Holstein Friesen
DSB	:	Deutsche Schwarzbunte
DFV	:	Deutsches Fleckvieh
DBV	:	Deutsches Braunvieh
SHR	:	Spontan hypertensive Ratten
SD	:	Sprague Dawley
WKY	:	Wistar Kyoto
pO_2	:	Sauerstoffpartialdruck
pCO_2	:	Kohlendioxidpartialdruck
Ca	:	Calcium
Ca ⁺⁺	:	ionisiertes Calcium
Ca _{Vb} ⁺⁺	:	ionisiertes Calcium im Vollblut
Ca _{Pl} ⁺⁺	:	ionisiertes Calcium im Plasma
Ca _{Ges}	:	Gesamtcalcium
% Ca ⁺⁺	:	prozentualer Anteil des ionisierten Calciums am Gesamtcalcium

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Calcium ist eines der häufigsten Elemente im Organismus und ein essentieller Nahrungsbestandteil. Die Beteiligung an zahlreichen biochemischen und physiologischen Prozessen erfordert eine genaue Einregulierung der Calciumkonzentration auf einem bestimmten Niveau.

Von seinen drei Fraktionen im Blut stellt das ionisierte Calcium die physiologisch wohl bedeutendste Fraktion dar. Bisher sind verschiedene Methoden entwickelt worden, um das ionisierte Calcium im Blut, Serum oder Plasma zu bestimmen. Die meisten dieser Verfahren waren mehr oder weniger zeitaufwendig und ungenau. Erst durch die Entwicklung ionenselektiver Elektroden in den 60er Jahren stand eine relativ brauchbare Methode zur Calciumionenmessung zur Verfügung. Im Bereich der Humanmedizin wurde seither der ionisierte Anteil des Calciums und seine Beeinflussung durch verschiedene Faktoren von zahlreichen Autoren mittels ionenselektiver Elektroden untersucht.

In der Tiermedizin dagegen liegen nur vereinzelte Untersuchungen des ionisierten Calciums beim Rind, Schaf, Hund und bei der Ratte vor.

Die vorliegende Arbeit befaßte sich mit folgenden Schwerpunkten:

- Bestimmung von Basiswerten für das Gesamtcalcium und das ionisierte Calcium im venösen Blut verschiedener Tierspezies: Rind, Ziege, Schaf, Hund, Schwein, Pferd, Huhn.
- Untersuchung des Effektes der Probenlagerung bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (4 und 28°C) auf den Gehalt des Gesamtcalciums und des ionisierten Calciums.
- Untersuchung des Einflusses der Nahrungsaufnahme (ohne Berücksichtigung der Nahrungszusammensetzung) auf den Gehalt des Blutes an Gesamtcalcium und ionisiertem Calcium.
- Untersuchung des Effektes eines veränderten Säure-Basen-Status in der Blutprobe (CO₂-Begasung).

2. SCHRIFTTUM

2.1. ALLGEMEINES

Calciumionen sind an zahlreichen Reaktionen und Funktionen im Organismus beteiligt:

- Als Hydroxyl-, Fluor- oder Carbonatapatit übt Calcium im Knochensystem Struktur- und Gerüstfunktion aus.
- Für zahlreiche Enzymsysteme und Hormone dient es als Aktivator (Steuer- und Triggerfunktion).
- Als Mediator bei der neuromuskulären Übertragung.
- Als wichtiger Bestandteil im Blutgerinnungssystem.

99% des Körpercalciums sind im Skelettsystem deponiert. Es bildet dadurch den wichtigsten Calciumspeicher und Calciumpuffer bei Störungen im Calciumhaushalt. Das restliche Prozent verteilt sich auf Intra- und Extrazellulärraum des nicht knöchernen Anteils des Organismus.

2.2. CALCIUMFRAKTIONEN IM EXTRAZELLULÄRRaum

Im Extrazellulärraum liegt das Calcium in drei verschiedenen Formen vor:

1. Das proteingebundene oder nichtdiffusible Calcium (ca. 40%) ist zu 85 bis 90% an die Carboxyl- oder Imidazolgruppen des Albumins gebunden. Die übrigen 10 - 15 % sind an Globuline gebunden. Calciumionen konkurrieren mit Wasserstoffionen um die Bindungsstellen an den Albuminen (AGUS et al. 1982).

2. Das ultrafiltrierbare oder diffusible Calcium setzt sich aus zwei Fraktionen zusammen:

- 5-15 % sind an Bikarbonate, Sulfate, Phosphate und Citrate gebunden (komplexgebundenes Calcium).
- Der größte Anteil des diffusiblen Calciums wird vom

3. ionisierten Calcium gebildet und stellt 40-50% des Gesamtcalciums im Blut. Das ionisierte Calcium ist die physio-

logisch aktive Form und wird auf einem bestimmten Niveau einreguliert.

Das Verhältnis der drei Calciumfraktionen zueinander ist im wesentlichen von der Wasserstoffionenkonzentration, vom Kohlendioxidpartialdruck, vom Eiweißgehalt und von der Temperatur abhängig (PETERSON 1961).

2.3. REGULATION DES CALCIUMSTOFFWECHSELS

An der Regulation des Calciumstoffwechsels und an der Ausgeglichenheit des Calciumhaushaltes sind in erster Linie das Parathormon, das Calcitonin, das Vitamin D₃ und ihre Zielorgane (Darm, Leber, Niere und Knochen) beteiligt (Abb. 1).

2.3.1. Parathormon

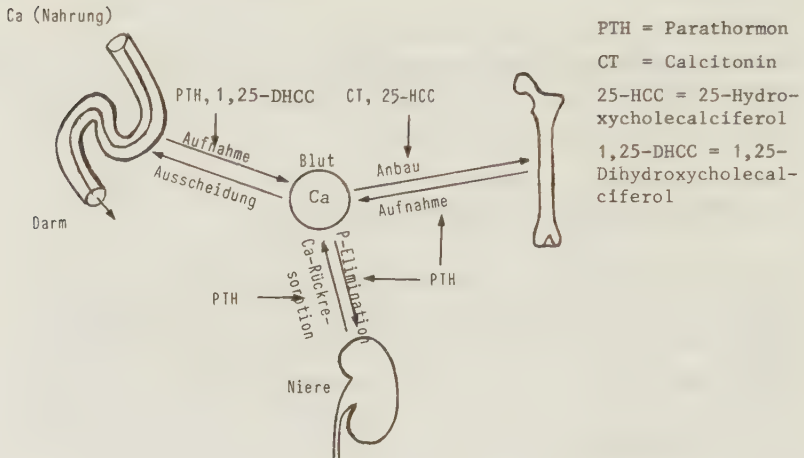
Die biologischen Aufgaben des Parathormons bestehen in:

- Aktivierung des osteoklastären Knochenabbaus mit Freisetzung von Calcium.
- Erhöhung der Calciumresorption aus dem Darm.
- Erhöhung der Calciumrückresorption im Nierentubulus.
- Erniedrigung der tubulären Rückresorption für Phosphat.

2.3.2. Cholecalciferol

Cholecalciferol (Vitamin D₃) wird hauptsächlich mit der Nahrung aufgenommen und nur ein geringer Teil wird durch ultraviolettes Licht in der Haut synthetisiert. In der Leber wird daraus 25-Hydroxycholecalciferol gebildet, welches für den ossären Calciumtransport verantwortlich zu sein scheint. In der Niere erfolgt aus Vitamin D₃ die Bildung von 1,25-Dihydroxycholecalciferol, welches für die Steuerung des enteralen Calciumtransportes verantwortlich ist.

Abb. 1: Schematische Darstellung der Regulation des Calciumstoffwechsels



2.3.3. Calcitonin

Calcitonin senkt den Serumcalciumspiegel durch Hemmung der Osteoklasten und durch Förderung der Osteoblastentätigkeit.

Im Falle einer Überschufzufuhr von Calcium mit der Nahrung oder eines vermehrten Knochenabbaus verursacht ein erhöhter Übertritt von Calcium in die Extrazellulärflüssigkeit nur eine geringe Zunahme des ionisierten Calciums. Dies führt zur Abnahme der Parathormonsekretion. Verminderte Parathormonspiegel reduzieren die tubuläre Rückresorption und erhöhen damit die renale Ausscheidung von Calcium. Gleichzeitig wird die Bildung von 1,25-Dihydroxycholecalciferol eingeschränkt. Dadurch wird die Calciumresorption durch den Magen-Darm-Trakt gemindert und das Gleichgewicht in Zufuhr und Ausscheidung wiederhergestellt. Umgekehrt erfordert die Anpassung an ein alimentäres Calciumdefizit eine erhöhte Parathormonsekretion und Produktion von 1,25-Dihydroxycholecalciferol. Die Aufrechterhaltung des Serumcalciumspiegels ist nur indirekt an ein Gleichgewicht zwischen Zufuhr und Exkretion gebunden,

da das Skelett als Calciumspeicher und als Puffer für plötzliche Änderungen des ionisierten Calciums dienen kann.

2.4. CALCIUMSTOFFWECHSELSTÖRUNGEN

Calciumstoffwechselstörungen können mit einer Hyper-, Normo- oder Hypocalcämie einhergehen. Häufig treten dabei Verschiebungen innerhalb der einzelnen Calciumfraktionen auf.

Ursachen für eine Hypercalcämie können sein:

- primärer Hyperparathyreodismus
- Malignome
- Vitamin D-, AT-10-Intoxikation
- akute Inaktivitätsosteoporose
- idiopathische Hypercalcämie
- Neurofibromatose
- Hyperthyreose

Ursachen für eine Hypocalcämie können sein:

- Hypo- und Pseudohypoparathyreoidismus
- Rachitis
- Malabsorptionssyndrome
- Hypoproteinämie
- postacidotischer Zustand
- Hypomagnesämie
- Hyperphosphatasie

2.5. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER VERSCHIEDENEN CALCIUM-FRAKTIONEN DES BLUTES

2.5.1. Gesamtcalcium

Die Gesamtcalciumkonzentration im Blut kann auf chemische oder physikalische Weise bestimmt werden:

2.5.1.1. Chemische Methoden

OXIDIMETRIE

Das Calcium wird mit Oxalat gefällt, das Präzipitat mit Ammoniak gewaschen und in Schwefelsäure aufgelöst. Die Oxalsäure wird mit Kaliumpermanganat titriert.

EGTA- bzw. EDTA-TITRATION

Der Indikator bildet mit Calcium im stark alkalischen Milieu einen sichtbaren oder fluoreszierenden Komplex. Bei der Titration mit den Komplexbildern EDTA (Äthylendiaminotetraessigsäure) oder EGTA (Äthylenglykoltetraessigsäure) wird der Indikator aus der Calciumbindung verdrängt und das Calcium wird an EGTA oder EDTA gebunden. Die Komplexbildner wirken so fluoreszenzmindernd. Da die Menge an EGTA-gebundenem Calcium der zugesetzten Menge an EGTA proportional ist, läßt sich aus der zum vollständigen Erlöschen der Fluoreszenz verbrauchten Menge EGTA die Calciumkonzentration in der Probe bestimmen. Für eine Calciumbestimmung genügen 100 µl Serum oder Plasma (DÖRNER 1975).

SANDHOLM et al. (1979) beschrieben eine Methode zur Bestimmung des Calciums beim Rind mittels EDTA-Titration und Rücktitration mit Calciumionen in der Anwesenheit von Thromboplastin.

FLUORIMETRIE

Nach Mischung von Probe und Indikator wird die Fluoreszenz photometrisch gemessen und mit einer Eichkurve der Calciumgehalt der Probe ermittelt.

KOLORIMETRIE

Nach Verdünnung, Dialyse und Zusatz von Diäthylamin wird die Farbentwicklung im eiweißfreien Dialysat gegenüber einem Serumstandard gemessen.

Von den chemischen Bestimmungsmethoden ist die Titration mit Komplexbildern der Oxidimetrie und der Fluorimetrie vorzu-

ziehen. EGTA- bzw. EDTA-Titration benötigen nur kleine Probenmengen und sind rasch und zuverlässig durchführbar. Der fluorimetrische Nachweis ist nicht ausreichend spezifisch für Calcium. Die Calciumbestimmung mit der Oxidimetrie ist mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden. Außerdem ergeben sich Fehler durch die Präzipitation und Präzipitatverluste beim Waschen.

2.5.1.2. Physikalische Methoden

Hierzu gehören Polarographie, Neutronenaktivierungsanalyse und spektralanalytische Verfahren wie Flammenemissionsphotometrie (FEP) und Atomabsorption (AAS).

FLAMMENEMISSIONSPHOTOMETRIE

Bei der Flammenemissionsphotometrie wird die Lichtemission eines in die Flamme zerstäubten Elements gemessen. Dabei ist die emittierte Lichtmenge proportional zur Konzentration des zu bestimmenden Elements in der Probe.

ATOMABSORPTION

Nach Planck kann ein Atom nur Licht diskreter Wellenlänge absorbieren oder emittieren gemäß

$$\varepsilon = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

h = Planck'sches Wirkungsquantum

ν = Frequenz

c = Lichtgeschwindigkeit

λ = Wellenlänge

ε , ν und λ sind dabei für jede Atomart charakteristisch, und deshalb kann aus der Absorption bei einer definierten Wellenlänge die Konzentration des Elements berechnet werden. Bei der Flammenemission wird die Intensität des von den angeregten Atomen emittierten Lichts gemessen, bei der AAS dagegen benutzt man die nicht angeregten Atome, deren Anzahl um

ein Vielfaches höher liegt als die Anzahl der angeregten Atome. Die nicht angeregten Atome absorbieren bei der Atomabsorption das Licht einer Hohlkathodenlampe und schwächen dadurch konzentrationsabhängig das Licht einer bestimmten Wellenlänge. Auf die Atomabsorption läßt sich das Lambert-Beer'sche Gesetz anwenden: Nach Erstellung einer Eichkurve mit bekannten Standards kann mit der Extinktion die Konzentration der untersuchten Probe bestimmt werden. Eiweiße, Heparin, harnpflichtige Substanzen und Diuretika haben keine Einflüsse auf die Meßwerte der Calciumbestimmung mittels Atomabsorption (PASCHEN 1975).

Ein Strontiumchlorid- oder Lanthanchloridzusatz ist notwendig, um bestimmte chemische Interferenzen mit Anionen zu verhindern. Sulfate und Phosphate bilden mit Calcium thermostabile Verbindungen und können dadurch einen Teil des Calciums dem Atomabsorptionsprozeß entziehen. Strontium und Lanthan haben eine größere Affinität zu Sulfaten und Phosphaten und verdrängen daher das Calcium aus diesen Bindungen, womit das Calcium nachweisbar wird. Man benutzt daher zur Probenverdünnung eine 0,25%ige (G/V)¹⁾ Strontiumchloridlösung mit 6% Butanol. Weitere Schritte, insbesondere eine Enteiweißung, sind nicht erforderlich.

IONENSELEKTIVE ELEKTRODEN

ANKER et al. (1981) berichteten von der Entwicklung einer speziellen Ionenaustauschermembran, die es ermöglicht, das Gesamtcalcium im Serum mit einer ionensensitiven Elektrode zu bestimmen. Das gebundene Calcium wird durch Ansäuerung der Probe mit Acetatpuffer auf pH 3,5 aus seinen Verbindungen freigesetzt und für die Messung mit der Elektrode nutzbar gemacht.

1) G/V = Gewicht/Volumen

2.5.2. Ultrafiltrierbares, protein- und komplexgebundenes Calcium

Das ultrafiltrierbare, protein- und komplexgebundene Calcium wird mit folgenden Methoden bestimmt:

DIALYSEVERFAHREN

Die zu untersuchende Probe wird in eine 0,8%ige Kochsalzlösung eingehängt. Der Dialysebadeflüssigkeit werden steigende Mengen Calciumchlorid zugesetzt. Diejenige Badlösung, bei der nach der Dialyse die Calciumkonzentration konstant geblieben ist, dient als Maß für das diffusible Calcium der Serumprobe.

CHROMATOGRAPHISCHE VERFAHREN

Diffusibles Calcium wird an die stationäre Phase einer Chromatographiesäule adsorbiert. Die Differenz zwischen dem ursprünglichen Calciumgehalt und dem Calciumgehalt des Eluates entspricht dem diffusiblen Anteil, der nun an das Chromatographiegel gebunden ist.

ULTRAZENTRIFUGATION

Bei dieser Methode wird die Probe bei ca. 150 000 g etwa 16 Stunden lang unter Paraffin zentrifugiert. Es bilden sich dadurch von oben nach unten drei Schichten:

- ein proteinfreier Überstand mit nicht proteingebundenem Calcium
- eine Proteinschicht, die zu 80% aus Albumin besteht und
- eine halbfeste, braune Schicht, die verworfen wird.

Die Konzentrationsdifferenz zwischen Gesamtcalcium im Serum und Calciumgehalt der proteinfreien Schicht entspricht dem proteingebundenen Anteil.

ULTRAFILTRATION

Durch Druck, Sog oder Schwerkraft wird Serum durch eine eiweißundurchlässige Membran ultrafiltriert. Das protein-

gebundene Calcium wird wieder als Differenz aus Gesamtcalcium und Calciumkonzentration des Ultrafiltrats berechnet.

Von den Methoden zur Bestimmung des ultrafiltrierbaren, protein- und komplexgebundenen Calciums erweist sich das Dialyseverfahren als sehr einfach. Nachteilig wirken sich hierbei die lange Dialysezeit, der Bedarf großer Probenmengen und mögliche pH-Verschiebungen aus. Für die Chromatographie, die Ultrazentrifugation und die Ultrafiltration reichen geringere Probenmengen aus. Dieser Vorteil muß durch einen größeren apparativen Aufwand erkaufte werden. Außerdem dauert die Calciumbestimmung mit diesen drei Methoden wie beim Dialyseverfahren mehrere Stunden.

MATHEMATISCHES VERFAHREN

ZEISLER (1954) gab ein Verfahren zur Berechnung des proteingebundenen Calciums aus dem Gesamtcalciumgehalt, der Wasserstoffionenkonzentration, dem Proteingehalt und mehreren Komplexbildungskonstanten an. Es setzte sich jedoch wegen zu großer Ungenauigkeit nicht durch.

2.5.3. Ionisiertes Calcium

2.5.3.1. Biologische Verfahren

Hierzu gehört der Versuch mit dem Froschherzen, wie er von McLEAN und HASTINGS (1934) beschrieben wurde. Bei dieser Bestimmung wird das Herz durch eine in die Aortenwurzel eingebundene Kanüle abwechselnd mit dem zu untersuchenden Serum und mit Lösungen mit bekannten Calciumkonzentrationen durchspült und die Kontraktionsamplituden werden auf einem Kymographen aufgezeichnet. Es entsprechen dabei gleiche Ausschläge am Kymographen gleichen Calciumionenkonzentrationen.

YENDT et al. (1955) inkubierten histologische Schnitte rachitischer Rattenknorpel 24 Stunden lang mit der zu untersuchenden Probe und verglichen die Breite der auftretenden Verkalkungszone als Maß der Aktivität des ionisierten Calciums mit Knorpeln, die in Standardlösungen inkubiert waren.

Die Nachteile dieser beiden Methoden waren Ungenauigkeit, großer zeitlicher Aufwand und ihre relativ große Unspezifität. Außerdem sollten die biologischen Methoden zur Calciumionenbestimmung in Anbetracht tierschützerischer Aspekte zugunsten der chemischen Meßverfahren keine Anwendung mehr finden.

2.5.3.2. Chemische Methoden

Beim modifizierten kolorimetrischen Nachweis des ionisierten Calciums nach RAAFLAUB (1951) wird in einem Ultrafiltrat nach Zugabe von Murexid die Extinktion gegen einen Leerwert gemessen.

Bei der Methode von SOULIER und CROSNIER (1958) dient die Gerinnungszeit eines calciumfreien und mit Thromboplastin versetzten Serums nach Zugabe der calciumionenhaltigen Serum- bzw. Standardproben als Maß für die Calciumionenkonzentration der Serumprobe.

Nachteile dieser Methoden sind die Unempfindlichkeit für erhöhte Calciumionenkonzentrationen, der komplizierte Aufarbeitungsvorgang und der Calciumverlust während des Reinigungsvorganges mit Bariumsulfat.

2.5.3.3. Ionenselektive Elektroden

Ionenselektive (ionensensitive) Elektroden arbeiten ähnlich wie die traditionelle Glaselektrode für die pH-Messung. Für die Calciumbestimmung wird eine Elektrode benutzt, die als aktive Elektrodenphase einen mit dem zu bestimmenden Element spezifisch reagierenden Ionenaustauscher besitzt. Diese ionensensitive Elektrode ist mit einer Referenzelektrode verbunden. Elektrolytraum und die zu untersuchende Probe werden durch eine ionenselektive Membran getrennt. Sowohl für die Glaselektrode (Referenzelektrode) als auch für die Membranelektrode (Calciumelektrode) gilt, daß sich an der Grenzfläche zwischen Innenelektrolyt und zu messender Probe eine Potentialdifferenz entwickelt. Diese Potentialdifferenz wird

über eine Ableitelektrode zu einem Verstärker geleitet. Das von der Kalomelreferenzelektrode abgeleitete Potential ist von der Ionenkonzentration unabhängig und konstant, so daß die Potentialdifferenz an den Eingängen des Verstärkers der Calciumionenkonzentration in der Probe proportional ist.

2.5.3.4. Kalkulation des ionisierten Calciums aus dem gemessenen Gesamtcalciumgehalt

BELONJE (1973 und 1976) und KVART und LARSSON (1978) wiesen in ihren Arbeiten darauf hin, daß die positive Korrelation zwischen dem Anteil des ionisierten Calciums und dem Gesamtcalciumgehalt nicht hoch genug ist, um aus dem Gesamtcalciumgehalt einer Plasma- bzw. Serumprobe eindeutig auf die Höhe des ionisierten Calciums schließen zu können.

PASCHEN (1975) verneint einen Zusammenhang zwischen ionisiertem Calcium und Gesamtcalcium beim gesunden Menschen. Auch HATTNER et al. (1970) konnten keine Beziehung zwischen der Höhe des ionisierten Calciumanteils und dem Gesamtcalciumgehalt beobachten.

LADENSON und BOWERS (1973) dagegen fanden bei Menschen mit ungestörtem Calciumhaushalt eine gute Korrelation zwischen ionisiertem Calcium und Gesamtcalciumgehalt.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, daß zur Bestimmung des Gesamtcalciumgehaltes einer Serum- oder Plasmaprobe die Titration mit einem Komplexbildner bzw. die Bestimmung durch Atomabsorption oder Flammenemission die geeignetsten Methoden sind.

Das ionisierte Calcium kann schnell und zuverlässig durch die Verwendung ionenselektiver Elektroden bestimmt werden.

Das proteingebundene, ultrafiltrierbare Calcium läßt sich nur mit aufwendigen Methoden genügend genau bestimmen.

Mathematische Verfahren eignen sich wegen zu großer Ungenauigkeit nicht zur Bestimmung des proteingebundenen bzw. des ionisierten Calciums aus dem Gesamtcalciumgehalt.

2.6. METHODISCHE UND PHYSIOLOGISCHE FAKTOREN, DIE DEN CALCIUMGEHALT EINER PROBE BEEINFLUSSEN

Zahlreiche Autoren untersuchten die Fraktionen des Calciums im Vollblut, Plasma oder Serum unter verschiedensten Gesichtspunkten und Bedingungen. Eine Übersicht über die bei den einzelnen Tierarten ermittelten Ergebnisse bieten die Tabellen 1-13.

2.6.1. Blutentnahmestreß und Transportstreß

Auf außergewöhnliche Situationen und Belastungen reagiert der betroffene Organismus mit dem allgemeinen Anpassungssyndrom (Streßreaktion) nach SEYLE (1971). Beanspruchungen des Organismus finden auch als Änderung der Blutzusammensetzung ihren Ausdruck. Deshalb untersuchten BICKHARDT und WIRTZ (1978) beim Schwein, TOLLERSRUD et al. (1971), MORGAN und UPTON (1975) und GOHARY (1978) beim Schaf den Effekt der Blutentnahme auf den Gesamtcalciumgehalt im Plasma.

BICKHARDT und WIRTZ (1978) ermittelten einen Anstieg der Plasmaelektrolytkonzentration (Gesamtcalcium, Natrium, Kalium) nach Anbindestreß beim Schwein. GOHARY (1978) stellte beim Schaf einen durch die Art der Blutentnahmetechnik (Katheterblut bzw. Punktion der V.jugularis) bedingten Anstieg der Plasmacalciumkonzentration fest. TOLLERSRUD et al. (1971) fanden sowohl bei erwachsenen Schafen als auch bei Lämmern nach einem Lkw-Transport zur Weide einen Anstieg der Plasmacalciumkonzentration.

Der Arbeit von MORGAN und UPTON (1975) zufolge erhält man die niedrigsten Calciumkonzentrationen, wenn das Blut unter streßarmen Bedingungen mittels Katheter entnommen wird. Diese Aussage hat auch für Ratten Gültigkeit: Nach manueller Ruhigstellung zur Entnahme von Herzblut wurden höhere Calciumkonzentrationen gemessen als nach medikamentöser Ruhigstellung (UPTON und MORGAN 1975).

Körperliche Betätigung als eine Form der Belastung des Organismus vor einer Blutentnahme führt beim Menschen sowohl zu einer Erhöhung des Gesamtcalciumgehaltes als auch des ionisierten Anteils (ROBERTSON und MARSHALL 1979). Die Situation nach Arbeit wird weiter durch das gebildete Laktat kompliziert, das mit Calcium Komplexe bilden kann, wenn es in genügender Menge vorhanden ist (SCHAER und BACHMANN 1974).

2.6.2. Beeinflussung der Gesamtcalciumkonzentration und des ionisierten Calciums durch die Verwendung von Antikoagulantien

Neben RAMAN (1979), der darauf hinweist, daß die Gerinnungshemmer Heparin, Citrat und Oxalat den ionisierten Anteil des Calciums erniedrigen, betonen auch ORESKES et al. (1968), MOORE (1970), LI und PIECHOCKI (1971), LADENSON und BOWERS (1973), HUSDAN et al. (1977), ROBERTSON und MARSHALL (1979) sowie BISWAS et al. (1981) den calciumionensenkenden Effekt des Heparins um ungefähr 2-5% durch die Bildung von Calcium-Heparin-Komplexen. LADENSON und BOWERS (1973) empfahlen deshalb eine Korrektur der Calciumionenwerte heparinisierten Blutproben. Entsprechende Beobachtungen machten KVART und LARSSON (1978) bei der Bestimmung des ionisierten Calciums beim Rind. Sie maßen im Plasma niedrigere Calciumionenkonzentrationen als im Serum. LADENSON und BOWERS (1973) berichteten auch über um 0,05 mmol/l höhere Calciumionenwerte für das Vollblut im Vergleich zum Plasma und führten dies auf die direkte Wirkung der Erythrozyten auf das Brückenpotential zurück.

Bei der Bestimmung des Gesamtcalciumgehaltes ist zu beachten, daß Oxalatplasma bei der Flammenemission niedrigere Calciumwerte liefert. Mittels Atomabsorption erhaltene Gesamtcalciumkonzentrationen, die unter Verwendung heparinisierten Plasmas bestimmt wurden, unterlagen dahingegen keiner Beeinflussung durch das verwendete Antikoagulans.

2.6.3. Anaerobe Blutentnahme

Zur Messung des ionisierten Calciums im Vollblut, Plasma oder Serum sollte die Blutentnahme unter streng anaeroben Bedingungen erfolgen, um Änderungen des Kohlendioxidpartialdruckes und eine damit verbundene Verschiebung des pH zu vermeiden. Es wird diskutiert, daß durch die Abnahme der Wasserstoffionenkonzentration an den Carboxyl- und Imidazolgruppen der Proteine Valenzen frei werden, die durch Calciumionen besetzt werden können (PASCHEN 1975). Veränderungen des pH lassen sich verhindern, indem z.B. die verwendeten Vacutainer^R bei der Blutentnahme vollständig gefüllt werden bzw. der Totraum der Spritzen mit einem Gerinnungshemmer oder Paraffinöl gefüllt wird.

BLUM et al.(1972) haben das ionisierte Calcium im Plasma und in anaerob gewonnenen Serumproben vom Rind gemessen und folgerten aus den gleichen Werten für Plasma und Serum, daß es nicht notwendig sei, unbedingt anaerobe Bedingungen einzuhalten. Die von ihnen gefundenen Calciumionenkonzentrationen unterscheiden sich stark von denen anderer Autoren.

2.6.4. Venenstau und Körperlage

Durch Venenstau oder kurzfristige Änderung der Körperhaltung kann es zu einer Änderung der Zusammensetzung des Blutes und zu einer Verschiebung des pH-Wertes kommen (ROBERTSON und MARSHALL 1979). Ein Abfall des pH-Wertes z.B. bei längerem Venenstau bewirkt eine Freisetzung von Calciumionen aus der Proteinbindung. Durch die große Pufferkapazität des Blutes werden jedoch die pH-Verschiebungen in engen Grenzen gehalten.

HUSDAN et al. (1973) maßen bei liegenden Patienten die niedrigsten Werte für Gesamtcalcium und Proteingehalt. Eine Änderung der Körperlage, insbesondere Aufstehen, führte zu einer Erhöhung von Calcium, Magnesium, Gesamtprotein, Albumin- und Globulinkonzentration. Sie führten dies auf den höheren Filtrationsdruck und die daraus folgende Hämokonzentration im

Stehen zurück. Die Körperlage hatte jedoch keinen Einfluß auf den Anteil des ionisierten Calciums. Sie schließen daraus, daß die Permeabilität der Gefäßwände für das ionisierte Calcium durch einen geänderten Filtrationsdruck nicht beeinflusst wird und sich daher die Calciumionenkonzentration nur unwesentlich ändert.

1974 wiesen HUSDAN et al. beim Menschen eine durch Armvenenstau verursachte Erhöhung des Gesamtcalciums und der Proteinkonzentration nach, während sich die Calciumionenkonzentration nicht änderte. Auch LI und PIECHOCKI (1971) fanden keine Beeinflussung der Serumcalciumionenkonzentration durch venösen Stau.

2.6.5. Lagerungsdauer, Lagerungstemperatur und Calcium

Eine Lagerung der Blutproben bei 4°C führt sowohl bei der Vacutainer^R-Technik als auch bei der Lagerung unter Paraffinöl sogar über einen längeren Zeitraum nur zu geringfügigen Änderungen der Calciumionenkonzentration und des CO₂-Gehaltes. Unter Paraffinöl kommt es zu einer Abnahme des Kohlendioxidpartialdruckes (Lösung von CO₂ in Paraffin) und der Calciumionenkonzentration und zu einer Zunahme des pH, im Vacutainer^R kommt es zu einer Abnahme des pH und zu einer Zunahme der Calciumionenkonzentration (PASCHEN 1975).

Nach LADENSON und BOWERS (1973) ändert sich die Calciumionenkonzentration während der Lagerung in einem verschlossenen Behälter bei 4°C über Nacht nicht.

Während LI und PIECHOCKI (1971) nach 2tägiger Lagerung des nicht abgetrennten Serums keine signifikanten Änderungen des ionisierten Calciumanteils feststellten, fanden ORESKES et al. (1968) nach 24 Stunden in gekühlten Plasmaproben signifikante Konzentrationsabnahmen der Calciumionen. Bei Raumtemperatur nahm die Konzentration an ionisiertem Calcium nach 6 Stunden gering ab, bei Kühlschranktemperatur blieben die Calciumionenkonzentrationen konstant.

KELLER (1975) berichtet, daß es während der Lagerung von

Plasma und Vollblut bei 25°C zu einer geringen aber statistisch wahrscheinlichen Konzentrationserhöhung des Gesamtcalciums kommt. BAER und KRAUSE (1968) beobachteten eine starke Zunahme während der Lagerung, wenn das Gefäß mit einem Korkstopfen verschlossen war. MERKER und HERRMANN (1954) berichteten von einem deutlichen Entmischungseffekt. Sie rechnen damit, daß es in aufrecht stehenden Gefäßen zur Bildung eines von oben nach unten zunehmenden Calciumgradienten kommt.

2.6.6. Wasserstoffionenkonzentration und Calcium

Die Beziehung zwischen Serum-pH und dem Verhältnis von ionisiertem zu nicht ionisiertem Calcium ist in der humanmedizinischen Literatur mehrfach belegt. Bei steigendem pH kommt es zu einer Abnahme an ionisiertem Calcium (McLEAN und HASTINGS 1935, ROBERTSON 1969, SCHWARTZ et al. 1971). SCHWARTZ et al. (1971) erhielten durch die Änderung des Kohlendioxidpartialdruckes zwischen pH 7 und pH 8 für vier Poolseren von Menschen vier verschiedene pH/log Ca^{++} -Geraden mit unterschiedlichen Steigungen. Zwischen pH 7,1 und pH 7,7 bestand dabei eine signifikante Abhängigkeit der Calciumionenkonzentration vom pH. Innerhalb von 7 Stunden änderte sich die Calciumionenkonzentration nicht, vorausgesetzt der pH blieb konstant. Deshalb können auch Humanblutseren einige Tage im Kühlschrank aufbewahrt werden, wenn zur Calciumionenbestimmung der ursprüngliche pH durch Kohlendioxidäquilibrierung wieder eingestellt wird.

PASCHEN (1975) veränderte den pH eines Poolserums durch schrittweise Zugabe von Salzsäure bzw. NaOH. Der Anteil des ionisierten Calciums nahm mit zunehmendem pH ab. Zwischen pH 6 und pH 8 wurde dadurch für die Calciumionenkonzentration eine angedeutete S-förmige Kurve gefunden.

Daß die Wasserstoffionenkonzentration des Blutes auch für den Gesamtcalciumgehalt von Bedeutung ist, wurde unter anderem von SCOTT und McINTOSH (1975) nachgewiesen. Sie ermittelten bei einer Störung des Säure-Basen-Haushaltes durch intra-

venöse Infusion von HCl bei Ferkeln eine vermehrte Ausscheidung von Elektrolyten mit dem Harn. Durch die Säureinfusion wurden eine Acidose verursacht und die Calcium- und Phosphorkonzentrationen im Plasma gesenkt. Eine Natriumbikarbonatinfusion führte zu keiner signifikanten Änderung der Plasmacalciumkonzentration. Bei Schafen erhielten SCOTT und BUCHAN (1981) ähnliche Ergebnisse. Säureinfusionen resultierten in einer erhöhten renalen Calciumausscheidung und in einer Senkung des Plasmacalciumspiegels. Ähnliche, aber weniger deutliche Änderungen ergab die Einatmung von CO₂-angereicherter Luft. Eine Alkaliinfusion senkte zwar die Plasmacalciumkonzentration, erhöhte aber nicht die renale Ausscheidung.

2.6.7. Beeinflussung der Calciumfraktionen durch den Proteingehalt

Über die Beeinflussung des Gesamtcalciumgehaltes und der Konzentration des ionisierten Calciums durch den Proteingehalt einer Blutprobe liegen verschiedene Angaben vor. So bestimmte z.B. ORRELL (1971) die Gesamtcalciumkonzentration und den Albumingehalt in Humanseren und berechnete einen Korrelationskoeffizienten. Mit diesem korrigierte er die Calciumwerte auf einen Albumingehalt von 3,4 g/100 ml. Zwischen diesen korrigierten Calciumwerten und deren Vorkommenshäufigkeit bestand eine annähernd lineare Beziehung.

Auch MEUTEN et al. (1982) fanden zwischen Gesamtcalcium und Albumin und zwischen Gesamtcalcium und Gesamtprotein im Serum von Hunden eine positive lineare Korrelation. BELONJE (1976) und KVART und LARSSON (1978) konnten hingegen keine eindeutige Beziehung zwischen Gesamtcalcium und ionisiertem Calcium oder dem Verhältnis zwischen einem der beiden und dem Gesamtplasmaprotein beim Schaf bzw. beim Rind nachweisen.

STUDER et al. (1972) berichteten, daß die Abhängigkeit des Gesamtcalciums vom Gesamteiweiß bei gesunden Probanden im Gegensatz zu anderweitig mitgeteilten Befunden sehr locker sei.

ORRELL (1971) und SACHS et al. (1971) sind der Ansicht, daß das Serumalbumin und das Serumgesamtprotein den Anteil des Gesamtcalciums, aber nicht den ionisierten Calciumanteil beeinflussen. Damit steht die Auffassung von LADENSON et al. (1978) in Einklang, die es für nicht möglich halten, aus den Werten für Protein, Albumin, pH und Gesamtcalcium die Konzentration des ionisierten Calciums berechnen zu können.

2.6.8. Tageszeitliche und altersabhängige Veränderungen des Calciumgehaltes

Von verschiedenen Autoren wird über eine rhythmische und altersabhängige Veränderung des Calciumgehaltes (gesamt und ionisiert) berichtet. TUMBLESON und HUTCHESON (1972) fanden beim Miniaturschwein die höchsten Calciumkonzentrationen im Serum um 6⁰⁰ und um 12⁰⁰ Uhr.

UNSHELM und RAPPEN (1967) fanden die niedrigsten Serumcalciumkonzentrationen beim Rind um 17⁰⁰ Uhr. POULSEN (1974) berichtete von jahreszeitlichen Schwankungen im Plasmacalciumgehalt mit Maxima im September/Okttober bei Milchkühen.

REECE und WAHLSTROM (1972) berichteten bei Kälbern von einem Anstieg der Plasmacalciumkonzentration ca. 4 Stunden nach der Fütterung und einem anschließenden Abfall auf Werte wie sie vor der Fütterung gefunden wurden.

Die altersabhängige Veränderung des Calciumgehaltes beim Rind wurde von BUTLER et al. (1971) und von STUDER et al. (1980) untersucht. Sie konnten mit zunehmendem Alter eine Abnahme der Gesamtcalciumkonzentration bei Kälbern bzw. bei Milchkühen feststellen.

MEYER und LEMMER (1973) erstellten ein Übersichtsreferat über den Mineralstoff- und Spurenelementgehalt im Serum bzw. Plasma des Pferdes in verschiedenen Altersstufen.

Bei nüchternen Patienten bestehen nach ROBERTSON und MARSHALL (1979) keine signifikanten diurnalen Calciumveränderungen.

2.6.9. Einfluß der Nahrungsaufnahme und der Nahrungszusammensetzung auf den Gehalt an Gesamtcalcium und ionisiertem Calcium

Die Auswirkung der Nahrungszusammensetzung auf den Elektrolytstoffwechsel und die Calciumkonzentration im Blut bei Schafen wurde von L'ESTRANGE und MURPHY (1972) erforscht. Die Zugabe von Salzsäure bzw. Schwefelsäure zu Grasmehl bewirkte keine eindeutige Änderung des Serumcalciumspiegels (L'ESTRANGE und McNAMARA 1975).

Eine Proteinmangelernährung des Muttertieres hatte keinen signifikanten Einfluß auf den Serumcalciumgehalt bei Ferkeln (TUMBLESON und HUTCHESON 1972).

JÖNSSON et al. (1980) untersuchten den Einfluß des Calciumgehaltes im Futter der Vorgeburtsphase bei Kühen mit Disposition zu Gebärpause. Der Effekt der präpartalen Calciumzufuhr erwies sich jedoch als nicht signifikant im Hinblick auf den Calciumspiegel von zu Pause neigenden Kühen.

Bei Ratten wurde der Einfluß unterschiedlicher Calciumkonzentrationen im Futter von AYACHI (1979), McCARRON et al. (1981) und von HIRSCH und HAGAMAN (1982) untersucht.

HIRSCH und HAGAMAN (1982) konnten in ihren Untersuchungen der tageszeitlichen Rhythmik von Calcitoninspiegel und Serumcalciumgehalt keine Beeinflussung durch den Calciumgehalt des Futters oder der Fütterungszeit erkennen.

Der Effekt der Nahrungsaufnahme hinsichtlich der Calciumionenkonzentration im Blut beim Menschen wurde von SEAMONDS et al. (1972) untersucht. Sie fanden nach einer Nahrungsaufnahme niedrigere Calciumionenkonzentrationen. Nach STUDER et al. (1972) hat ein leichtes Frühstück keinen Einfluß auf die Serumcalciumfraktionen und der Gehalt des ionisierten Calciums ist bei gesunden Patienten feiner einreguliert als der Gesamtcalciumgehalt.

LADENSON und BOWERS (1973) und ROBERTSON und MARSHALL (1979) empfahlen, das Blut für die Calciumbestimmung dem nüchternen

Patienten zu entnehmen, da nach einer Nahrungsaufnahme der Gehalt an ionisiertem Calcium höher sei.

2.6.10. Gravidität und Calcium

BOSTEDT und HAUSMANN (1980) ermittelten bei mehrlingsgraviden Schafen bei fortgeschrittener Trächtigkeit eine signifikant niedrigere Serumcalciumkonzentration als bei Tieren, die nur einen Fetus auszutragen hatten, ohne daß sich bei diesen Tieren klinische Anzeichen einer Hypocalcämie nachweisen ließen. Bei Schafen mit Einlingsgravidität bewirkte das Einsetzen der Laktation einen vorübergehenden Abfall der Calciumkonzentration.

BLUM et al. (1972) verfolgten den Blutspiegel des Gesamtcalciums und des ionisierten Calciums in der peripartalen Zeit bei Jersey-Kühen. Sie fanden, daß Gesamtcalcium und ionisiertes Calcium bis zum Geburtszeitpunkt abnahmen und danach wieder auf die Ausgangswerte anstiegen.

ROBERTSON und MARSHALL (1979) berichteten von sinkender Calciumionenkonzentration mit fortschreitender Gravidität beim Menschen.

2.6.11. Einfluß einer Enteritis auf den Calciumhaushalt

Einen deutlichen Verlust an Serumcalcium bei Durchfallkälbern fand YOUSSEF (1980). Diese Hypocalcämie konnte mit Elektrolytpräparaten in den ersten 24 Stunden nicht gebessert werden. HAFEZ (1979) fand bei Rindern und Kälbern, die zum Teil schon mehrere Tage an Enteritis litten, je nach Ursache der Erkrankung (alimentär, bakteriell, viral, parasitär) teilweise signifikant niedrigere Gesamtcalciumkonzentrationen im Serum. Er führte diesen Sachverhalt auf eine verminderte Futteraufnahme und eine erhöhte Passagegeschwindigkeit der Ingesta im Darmbereich während des Durchfalls, also auf eine verminderte Calciumresorption zurück. FISCHER und BUTTE (1974) berichteten in ihrer Arbeit von einem geringen Anstieg der Serumcalciumkonzentration bei enteritiskranken Tieren im Vergleich zu einer Kontrollgruppe.

2.6.12. Calcium und Dysfunktion der Parathyreoidea

GIRNDT et al. (1979) beschrieben bei Patienten mit Hyperparathyreoidismus eine inverse Korrelation zwischen pH und dem prozentualen Anteil des ionisierten Calciums am Gesamtcalcium.

LLOYD und ROSE (1958) nahmen an, daß ein erhöhter Parathormonspiegel die Fähigkeit der Plasmaproteine, ionisiertes Calcium zu binden, einschränkt und deshalb einen erhöhten Calciumionenspiegel verursacht.

2.6.13. Calcium und Hypertension

WRIGHT et al. (1980) bestimmten die Konzentrationen von ionisiertem Calcium und Gesamtcalcium im Plasma von spontan hypertensiven Ratten. Sie fanden im Vollblut von männlichen spontan hypertensiven Ratten in der Anfangszeit erhöhten Blutdruckes und bei älteren Tieren (28-32 Wochen) mit manifester Hypertension geringfügig niedrigere Calciumionenkonzentrationen verglichen mit normotensiven Kontrolltieren. Das Gesamtcalcium unterschied sich nicht signifikant, obwohl das Verhältnis ionisiertes : Gesamtcalcium zwischen spontan hypertensiven Ratten und normotensiven Kontrolltieren ähnlich war. Im Gegensatz zu männlichen zeigten weibliche spontan hypertensive Ratten Calciumionenspiegel wie normotensive Ratten. Das Gesamtcalcium nahm mit dem Alter und der Blutdruckerhöhung zu.

2.7. CALCIUMFRAKTIONEN BEIM GEFLÜGEL

Da der Calciumhaushalt beim Geflügel eine durch die Eiproduktion bedingte Sonderstellung einnimmt, soll dieser Punkt gesondert besprochen werden. Ein Vergleich der Plasmacalciumfraktionen zweier Hühnerrassen (White Leghorn und White Plymouth Rock) vom März bis September zeigte, daß das diffusible Calcium während des Untersuchungszeitraumes unabhängig von der Legeleistung auf einer bestimmten Höhe blieb. Der Gesamt-

calciumgehalt und der Gehalt an gebundenem Calcium stieg in Abhängigkeit von der Legeleistung an. SNAPIR und PEREK (1969) führen dies darauf zurück, daß das gebundene Calcium hauptsächlich durch den Östrogenspiegel kontrolliert wird. Des weiteren scheint die positive Beziehung zwischen der Legeleistung und dem Gesamtcalcium des Plasmas ein physiologisches Charakteristikum der Legehenne zu sein.

SIEGEL et al. (1974) untersuchten den Einfluß unterschiedlicher Temperaturen und Aufstallungsformen an White-Plymouth-Rock-Broilerküken im Alter von 3-9 Wochen. Die zu Beginn des Experiments zwischen den Versuchstiergruppen vorhandenen Differenzen bezüglich des Plasmagesamtcalciumgehaltes wurden mit zunehmendem Alter geringer.

2.8. CALCIUMFRAKTIONEN IM VOLLBLUT, PLASMA UND SERUM VERSCHIEDENER SPEZIES

Calciumfraktionen im Vollblut, Plasma und im Serum verschiedener Spezies zeigen die Tabellen 1-13. Sie sollen einen Überblick über "Normalwerte", angewandte Methode und etwaige Besonderheiten des Versuchs geben. Die Angaben stammen zum Teil aus Arbeiten, deren Schwerpunkt nicht speziell auf der Bestimmung des Calciumgehaltes lag und stellen Werte dar, die bei den Kontrolltieren des eigentlichen Versuchs gemessen wurden. Wenn nicht anders angegeben handelt es sich um venöses Blut.

Die Angaben erfolgen in mmol/l, Werte mit anderen Einheiten wurden in mmol/l umgerechnet.

Tab. 1: Gesamtcalciumkonzentrationen im Blut des Schafes
aus der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonder- heiten	Quelle
2,12-2,63	Serum	Photometer	peripartaler Zeitraum, aus Abb.	24
2,28±0,18	Plasma	n.Gitelman	Mutterschafe	116
2,80±0,097	Serum	EDTA	12 Monate	76
2,825±0,087	"	"	peripartal	"
2,85± 0,07	"	"	14 Tage p.part.	"
2,195±0,068	Plasma	Autoanalyzer	Mutterschafe	130
2,31± 0,03	Serum	n.Ferro-Ham 1957	Merino, tragend	23
3,03± 0,07	Serum	n.Tisdall 1925	Mutterschafe und Lämmer	49
2,50± 0,17	Serum	n.Pylus 1968	Merino	53
2,44±0,162	Serum	AAS	Mutterschafe	15
2,572±0,117	Plasma	"	"	16
2,50± 0,07	Plasma	EDTA		47
1,95±0,175	Serum	AAS	Kastraten	34
2,02- 2,18	"	"	"	33

Tab. 2: Gesamtcalciumkonzentration im Blut von Lämmern in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
3,02±0,05	Plasma	EDTA	Hamshire, 1-60 T.	76
2,80±0,05	"	"	Suffolk, 3-12 Mo.	"
2,232±0,057	"	Autoanalyser		131
3,75±0,085	Plasma	EDTA	Neugeborene Lämmer	76
3,025±0,055	"	"	24 St.p.partum	"
2,87±0,035	"	"	1 Monat	"
2,682±0,167	Plasma	AAS		16

Außer der Gesamtcalciumkonzentration mittels der Atomabsorption bestimmte BELONJE (1973, 1976) bei seinen Untersuchungen auch den ionisierten Anteil des Calciums mit zwei verschiedenen Modellen ionenselektiver Elektroden beim Schaf.

Tab. 3: Konzentration des ionisierten Calciums im Blut von Schafen und Lämmern in der Literatur

Ca ⁺⁺ in mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
1,14±0,11	Serum	Elektroden	Mutterschafe	15
1,06±0,12	Plasma	"	"	16
1,12±0,16	"	"	Lämmer	"

Der Gesamtcalciumgehalt im venösen Blut von Ziegen wird von GALL (1982) mit 2,25-2,62 mmol/l (peripartaler Zeitraum) und von NETO (1980) mit 2,02-2,5 mmol/l angegeben.

Tab. 4: Gesamtcalciumkonzentrationen im Blut vom Kalb
in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
2,54±0,11	Serum	FEP	4-10 Wochen	79
2,8±0,25	Serum	FEP	0-10 Tage	27
1,75-3,0	Serum	Fluorometer	HF ¹⁾ , männlich	135
2,295±0,152	Serum	AAS	DSB ²⁾ , 0-14 Tage	35
2,87-3,19	Serum	AAS	HF, männl. 80 kg	88
2,8±0,075	Plasma	AAS	DFV ³⁾ , 70-150 kg männlich	137
2,175-2,575	Serum	n.Payne et al. 1970		63
2,79±0,07	Plasma	AAS	Mastkälber	22
2,55±0,185	Serum	Fluorometer	12 Std. Nahrungs- karenz	114
2,645±0,285	Serum	AAS	gesunde Kälber	50
2,4 ± 0,2	Serum	FEP	weibl. Aufzucht- rinder, 1-29 Mo.	127
2,282±0,12	Plasma	Autoana- lyzer	HF, männlich	107
1,7-2,3	Plasma	FEP	DBV ⁴⁾ , 0-2 Tage	14
3,68±0,9	Serum	Boehringer Teststreifen	Neugeborenen	141
3,15±0,31	Serum	"	1 Monat	"

1) HF = Holstein Friesen

2) DSB = Deutsche Schwarzbunte

3) DFV = Deutsches Fleckvieh

4) DBV = Deutsches Braunvieh

Tab. 5: Gesamtcalciumkonzentrationen im Blut des Rindes
in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
2,79±0,2	Serum	FEP	4-10 Monate	79
2,71±0,17	"	"	2-3 Jahre	"
2,425±0,197	Serum	FEP	3-7 Jahre	11
2,332±0,019	Serum	AAS	Maisfütterung	74
2,352±0,019	"	"	Luzernefütterung	"
2,19±0,3	Serum	keine Angabe		38
2,37±0,1	Serum	Technicon- Methode N3b		97
2,8±0,28	Serum	AAS	Milchkühe	100
2,1-2,75	Plasma	AAS	Milchkühe, <i>A.coccygea</i>	93
2,35-2,7	"	"	" , <i>V.coccygea</i>	"
2,3-2,8	"	"	" , <i>V.jugularis</i>	"
2,370	Serum	Technicon -	Winter	97
2,395	"	Methode N3b	Sommer	"
2,19±0,3	Serum	AAS		48
2,25-2,74	Serum	FEP		44
2,51±0,16	Serum	AAS		66
2,577±0,127	Plasma	AAS	bis zu 8 Wo. vor der Geburt	60
2,047±0,38	"	"	bis zu 5 Wo. nach der Geburt	"
2,417±0,178	Serum	AAS		50
2,55±0,025	Plasma	Ultrafil- tration	10 Wo. ante partum bis 8 Wo.p.partum	90

Den ionisierten Anteil des Calciums bestimmten beim Rind KVART und LARSSON (1978), KVART et al. (1980), OLUOKUN et al. (1981) und BLUM et al. (1972).

Tab. 6: Konzentration des ionisierten Calciums im Blut vom Rind in der Literatur

Ca ⁺⁺ in mmol/l	Substrat	Nachweis-methode	Besonderheiten	Quelle
1,08±0,07	Serum	Elektrode		66
1,16±0,049	"	"		67
0,525-0,925	Plasma	Elektrode	peripartal	21
1,12±0,02	Plasma	Ultrafil-tration	10 Wo.a. partum bis 8 Wo.p.partum	90

Das proteingebundene Calcium wurde von OLUOKUN et al. (1981) mit 1,43±0,02 mmol/l bestimmt.

Tab. 7: Gesamtcalciumkonzentration im Blut des Ferkels in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis-methode	Besonderheiten	Quelle
2,67±0,12	Serum	Autoana-lyzer	neugeborene Ferkel	132
2,815±0,062	"	"	-2 Wochen	"
2,77±0,04	"	"	-4 Wochen	"
2,89±0,12	Plasma	n.Gitelman 1967	Ferkel, weibl. 25 kg	117

Tab. 8: Gesamtcalciumkonzentration im Blut des adulten Schweines in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
2,625-2,672	Serum	Autoana- lyzer	11 Mo.alte Mini- aturschweine	132
2,61±0,095	Plasma	AAS	90 kg-Schweine	31
2,57±0,08	Plasma	EDTA	Mastschwein, nüch- tern, ven.Kathe- terblut	18
2,62±0,08	"	"	Mastschwein, gefüt- tert, ven.Katheter- blut	"

Tab. 9: Gesamtcalciumkonzentration im Blut der Ratte in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
2,67±0,047	Serum	FEP		125
2,45±0,03	Plasma	AAS	SHR	8
2,35±0,015	"	"	WKY	"
2,45-2,8	Plasma	AAS	SHR,weibl. 6- 32 Wo.aus Abb.	139
2,4-2,57	"	"	SHR, männl. "	"
2,45-2,62	"	"	SD,männl. "	"
2,45-2,65	"	"	SD,weibl. "	"
1,75-2,8	Serum	AAS	neugeborene Ratten 0 Std.-4 Wo.p.part. aus Abb.	130
2,4-2,67	Serum	AAS	WKY und SHR,15-39 Wochen, aus Abb.	77

Eine Zusammenstellung der Meßwerte für das ionisierte Calcium bei der Ratte gibt Tabelle 10.

Tab. 10: Konzentration des ionisierten Calciums im Blut der Ratte in der Literatur

Ca ⁺⁺ in mmol/l	Substrat	Nachweis-methode	Besonderheiten	Quelle
0,95-1,15	Serum	Elektroden	WKY+SHR, 16-48 Wochen, aus Abb.	77
1,18-1,31	Vollblut	Elektroden	SHR, männlich 6-32 Wochen, aus Abb.	139
1,06-1,18	"	"	SHR, weibl. 6-32 Wo.	"
1,03-1,05	"	"	SD, männl. 6-32 Wo.	"
1,06-1,18	"	"	SD, weibl. 6-32 Wo.	"

SHR = Spontan hypertensive Ratten

SD = Sprague Dawley

WKY = Wistar Kyoto

Tab. 11: Gesamtcalciumkonzentration im Blut des Hundes in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Substrat	Nachweis-methode	Besonderheiten	Quelle
2,777±0,135	Serum	EDTA	weibl. Tiere	128
2,7±0,097	"	"	männl. Tiere	"
2,65±0,3	Serum	n. Ferro-Ham 1957	arterielles Katheterblut	84
2,305-2,975	Serum	FEP		55
2,777±0,1 (+ SE)	Plasma	AAS		56
2,2-2,825	Serum	Kresolph-thalein Komplexmethode		81

MEYER und LEMMER (1973) veröffentlichten eine umfangreiche Übersicht über den Serumelektrolytgehalt des Pferdes. Die in der Tabelle 12 aufgeführten Calciumwerte sind bis auf die Werte nach KOTERBA und CARLSON (1982) aus dieser Übersicht entnommen.

Tab. 12: Gesamtcalciumkonzentrationen im Blut des Pferdes in der Literatur

Ca-Gesamt mmol/l	Alter	Quelle
2,8-3,4		KOTERBA und CARLSON (1982)
3,25-3,375	bis 6 Mo.	siehe MEYER und LEMMER (1973)
3,0 -3,65	bis 1 Jahr	
2,92-3,8	bis 2 Jahre	
2,82-3,52	bis 3 Jahre	
2,8 - 3,52	über 3 Jahre	
3,02-3,4	3-5 Jahre	
2,82-3,45	6-10 Jahre	
2,92-3,52	11-20 Jahre	

Tab. 13: Gesamtcalciumkonzentration und diffusibles Calcium im Plasma des Huhns in der Literatur

Calcium mmol/l	Substrat	Nachweis- methode	Besonderheiten	Quelle
6,25±0,375	Plasma	Diehl + El- lingboe 1956	Gesamtcalcium, White Leghorn, legend	124
4,52±0,325	"	"	Gesamtcalcium, White Plymouth Rock, legend	"
2,45±0,25	"	Ultrafil- tration	Diffusibles Cal. White Leghorn legend	"
1,75-2,5	"	"	Diffusibles Cal. White Plymouth Rock, legend	"
1,75-2,5	Plasma	Fluorime- trie	Gesamtcalcium White Plymouth Rock, Broiler 3 Wo., aus Abb.	120
1,625-2,0	"	"	", 6 Wo.	"
2,4-2,7	"	"	", 9 Wo	"

Aus dem vorher Gesagten geht hervor, daß die Calciumfraktionen im Organismus und besonders das zwischen ihnen bestehende Verhältnis in starkem Maße vom Säure-Basen-Status abhängig sind. Dies erfordert bei der Messung des ionisierten Calciums im Blut, den jeweiligen Säure-Basen-Haushalt mit zu bestimmen.

2.9. SÄURE-BASEN-HAUSHALT

Die Konstanzhaltung der Wasserstoffionenkonzentration im Organismus ist von größter Bedeutung, da die meisten enzymatischen Reaktionen nur in einem schmalen pH-Bereich mit einer optimalen Geschwindigkeit ablaufen können. Für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts im Säure-Basen-Haushalt stehen dem Körper zwei Regulationssysteme zur Verfügung:

- über die Nieren werden die Protonen nichtflüchtiger Säuren
- und über die Lungen wird das im Intermediärstoffwechsel entstandene Kohlendioxid ausgeschieden.

Kohlendioxid und Protonen sind durch Puffersysteme zu einem Säure-Basen-Gleichgewicht verbunden. Die Parameter pH und $p\text{CO}_2$ werden heute im allgemeinen mit potentiometrischen Methoden ermittelt.

2.9.1. Blutprobenentnahme

Die richtige Gewinnung und Behandlung der Blutproben vor der Durchführung blutgasanalytischer Bestimmungen sind außerordentlich wichtig, um zu gewährleisten, daß die erhaltenen Meßwerte den aktuellen (tatsächlichen) Blutverhältnissen entsprechen. Die Bestimmung der Blutgase und der Wasserstoffionenkonzentration erfolgt durch die Punktion oder Katheterisierung einer Arterie oder Vene. Dabei ermöglicht die Verwendung arteriellen Blutes die Untersuchung der respiratorischen und der metabolischen Komponente des Säure-Basen-Haushaltes. Venöses Blut dagegen eignet sich nur eingeschränkt zur Bestimmung der respiratorischen Komponente des Säure-Basen-Haushaltes. Im allgemeinen genügt venöses Blut zur Bestimmung nicht von der Respiration abhängiger Größen. Um den erhöhten methodischen Aufwand bei der Gewinnung arteriellen Blutes zu umgehen, empfehlen SIGGAARD-ANDERSEN (1968), MITSCHKE (1973), KLINGSTRÖM et al. (1976) und WHITE et al. (1979) die Verwendung arterialisierten Kapillarblutes.

Eine Voraussetzung für die Messung der ursprünglichen Blutparameter ist die anaerobe Gewinnung des Blutes. Um dies zu erreichen, wurde die Verwendung von Vacutainern^R (GAMBINO 1959, FLEISHER und SCHWARTZ 1971, PASCHEN 1975), von Spritzen, deren Totraum mit Gerinnungshemmer oder Paraffinöl gefüllt war (GAMBINO 1959) oder von Glaskapillaren, die an beiden Enden verschlossen wurden (SIGGAARD-ANDERSEN et al. 1960), empfohlen. BISWAS et al. (1982) untersuchten die Auswirkungen von Luftblasen in Spritzen. Luft in der Spritze erhöhte den Sauerstoffpartialdruck und erniedrigte den Kohlendioxidpartialdruck signifikant innerhalb 3 Minuten, während bei Wasserstoffionenkonzentration, Bikarbonat, Gesamt-CO₂ und Basenabweichung auch nach 5 Minuten keine signifikanten Änderungen festgestellt werden konnten. Die Größe der Luftblasen in der Spritze hatte dabei keinen Einfluß.

2.9.2. Einflüsse der Lagerung

Um die Meßergebnisse des Säure-Basen-Haushaltes im Blut beurteilen zu können, ist es notwendig, die Veränderungen, die sich während der Lagerung ereignen, zu kennen, da es vielfach nicht möglich ist, unmittelbar im Anschluß an die Blutentnahme die Analyse durchzuführen.

Die Stoffwechselprozesse der einzelnen korpuskulären Bestandteile, insbesondere Leukozyten und Retikulozyten, können durch die Blutentnahme nicht abrupt unterbrochen werden. Vielmehr laufen sie bei ungekühlten Proben ungemindert weiter, während sie durch eine Kühlung des Blutes mehr oder weniger stark reduziert werden können. Der Fortgang der Stoffwechselprozesse führt durch Sauerstoffverbrauch, Kohlendioxidbildung, Anhäufung von Laktat und Pyruvat zu einer Verschleierung des aktuellen Säure-Basen-Bildes der Blutprobe.

Die Feststellungen, wie sie LIESKE et al. (1981) für das Pferd getroffen haben, gelten weitgehend auch für andere Tierarten: "Für die Veränderungen der Säure-Basen-Parame-

ter sind im wesentlichen die sauren Metaboliten Milchsäure und Brenztraubensäure verantwortlich, die im Rahmen der Glykolyse durch die Leukozyten und Retikulozyten entstehen. Durch die Abkühlung der Blutprobe kommt es entsprechend den Gasgesetzen zu einer Senkung des Kohlendioxidpartialdruckes. Der pO_2 -Abfall ist im wesentlichen auf den Eigenverbrauch durch die Erythrozyten zurückzuführen. Die Lagerung ergab sowohl für den pH als auch für den Sauerstoffpartialdruck eine Abnahme, die bei den bei Raumtemperatur gelagerten Proben ausgeprägter waren".

Weitere Autoren (POULSEN und SURYNEK 1977, HASKINS 1977, ASSAL et al. 1978, 1978, 1980, 1980, van der WAL et al. 1981, BISWAS et al. 1982) konnten durch Kühlung des Probengutes die Veränderungen von pH und pCO_2 ebenfalls gering halten. BISWAS et al. (1982) fanden im venösen Blut bis zu 30 Minuten nach der Entnahme unabhängig von der Lagerungstemperatur keine signifikanten Veränderungen für pH und Kohlendioxidpartialdruck.

ASSAL et al. (1978, 1978, 1980, 1980) fanden im Blut von Nerz, Hund, Schwein und Pferd eine lagerungsbedingte Zunahme des pCO_2 . Bei 4°C waren die Veränderungen für pO_2 , Standardbikarbonat und Basenabweichung sehr gering. Aufgrund der nur minimalen Veränderungen in den ersten 24 Stunden halten sie eine Korrektur der Säure-Basen-Werte für nicht notwendig (ASSAL et al. 1980).

Auch van der WAL et al. (1981) stellten fest, daß es im allgemeinen während der ersten 6 Stunden der Lagerung zu keinen bedeutenden Veränderungen der Säure-Basen-Parameter kommt, wenn Menschen-, Pferde-, Rinder-, Schweine- oder Hundeblut im Eiswasser gelagert wird. Bei höheren Temperaturen kommt es zur schnelleren pCO_2 -Zunahme und zur pH-Abnahme durch die Bildung von Laktat.

Nach HASKINS (1977) kann eine eisgekühlte Probe bis zu dreieinhalb Stunden ohne wesentliche pH-Änderungen und bis zu

6 Stunden ohne wesentliche $p\text{CO}_2$ - und $p\text{O}_2$ -Änderungen gelagert werden. Die Verwendung von Plastikspritzen bzw. von Glas-spritzen zur Eiswasserlagerung hatte keine signifikanten Unterschiede in bezug auf den Säure-Basen-Haushalt zur Folge.

2.9.3. Blutentnahmestreß

Van der WAL et al. (1981) wiesen auf die Verfälschung der tatsächlichen Säure-Basen-Werte durch den durch die Art der Blutentnahme bedingten Streß hin. Tatsächlich beeinflußt das Ausmaß der Manipulation eines Tieres vor der Blutentnahme dessen Blutparameter. Durch die Manipulation zur Punktion der Vena cava cranialis beim Schwein kommt es zu einer Senkung des pH, der Basenabweichung und des Standardbikarbonats während $p\text{CO}_2$, Hämoglobin und Laktatwerte im Vergleich zu mittels Katheter entnommenem Blut ansteigen. Die Bedeutung der schonenden und streßarmen Blutentnahme beim Schwein für die Bestimmung des tatsächlichen Säure-Basen-Zustandes wird auch von BICKHARDT und WIRTZ (1978) hervorgehoben.

Ähnliche Ergebnisse wurden für Ratten und Schafe erhalten. UPTON und MORGAN (1975) ermittelten nach medikamenteller Ruhigstellung bei der Ratte und MORGAN und UPTON (1975) mittels Verweilkatheter beim Schaf niedrigere Werte für den pH als für Blutproben, die nach manueller Fixation und Ruhigstellung gewonnen wurden.

2.9.4. Antikoagulantien

Nach SIGGAARD-ANDERSEN et al. (1960, 1961) hat Heparin bis zu 1 mg/ml nur einen minimalen Effekt auf den Säure-Basen-Haushalt: pH und Basenabweichung werden erniedrigt, der Kohlendioxidpartialdruck nimmt zu.

Antikoagulantien wie Citrat, Oxalat oder EDTA können nicht verwendet werden, da sie den pH-Wert verschieben und somit die Säure-Basen-Parameter wesentlich verfälschen.

3. MATERIAL UND METHODIK

3.1 TIERE

Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Tiere, deren Blut untersucht wurde.

Tierart	Geschlecht	Gewicht	Alter	n	Sonstiges
Milchkühe -Braunvieh		450-650 kg	4-7 Jahre	8	gefüttert
Aufzuchtkälber -Braunvieh	weiblich	140-200 kg	5-10 Mo	8	gefüttert
Mastkälber -Braunvieh	männlich	70-75 kg	ca. 5 Wo	11	nüchtern bzw. gefüttert
Zwergziegen	weiblich u. Kastraten	25-35 kg	2-3 Jahre	9	nüchtern bzw. gefüttert
Schafe -Merino	weiblich	70-80 kg	3-4 Jahre	8	gefüttert
Shetland- Ponys	weiblich			6	gefüttert
Ferkel	weiblich u. Kastraten	35-40 kg	ca. 16 Wo.	10	nüchtern bzw. gefüttert
Hunde -Beagle	weiblich	12,7-15,1 kg	13 Mo	17	nüchtern
-Dalmatiner	weiblich	16,9-19,5 kg	13 Mo	13	nüchtern
Masthähnchen			ca. 10 Wo	8	Käfighaltung gefüttert

3.2. BLUTENTNAHME, TRANSPORT UND LAGERUNG DER BLUTPROBEN

Für die Blutentnahme wurden Einmalspritzen (5-50 ml) verwendet, deren Totraum (15-150 μ l) mit Na-Heparinlösung (Thrombophob^R, 5000 USPE/ml, Nordmark-Werke) gefüllt wurde, Heparin wurde als Gerinnungshemmer verwendet, da es den Calciumgehalt und den pH-Wert der Probe nur gering beeinflusst (s. S.36).

Die Blutentnahme (5-50 ml) erfolgte anaerob und je nach Spezies aus folgenden Gefäßen:

- V.jugularis bei Milchkühen, Kälbern, Ziegen, Schafen und Ponys.
- V.cava cranialis beim Ferkel. Die Punktion erfolgte paramedian und kaudal der Brustbeinspitze.
- V.cephalica antebrachii bei Dalmatiner und Beagle.
- V.ulnaris beim Masthähnchen.

Der Transport der mit Stöpseln verschlossenen Proben erfolgte in einem Eis-Wasser-Gemisch und die weitere Lagerung bei 4°C im Kühlschrank. Die ersten Analysen erfolgten normalerweise in einem Zeitraum bis zu 2 Stunden nach der Probenentnahme.

3.3. NHRUNGSAUFNAHME

Die Blutentnahmen erfolgten in der Regel ohne Berücksichtigung des Fütterungszustandes der Tiere. Da sie i.d.R. ständig Nahrung aufnehmen konnten, wurden sie als gesättigt betrachtet (Ausnahme Hunde). Ferkel, Kälber und Zwergziegen wurden zweimal zur Blutentnahme herangezogen, um zu ermitteln, ob eine 12stündige Nahrungskarenz des Tieres einen Einfluß auf die Calciumfraktionen des Blutes hat. Die Blutuntersuchungen erfolgten dabei ohne Berücksichtigung der quantitativen und der qualitativen Zusammensetzung der aufgenommenen Nahrung, insbesondere hinsichtlich des Calciumgehaltes.

Den Milchkühen wurde außer Gras als Grundfutter und einem Mineralfuttermisch der Leistung entsprechend Milchleistungsfutter verabreicht.

Die Aufzuchtälber wurden lediglich mit Gras und einem Mineralfuttermisch ernährt.

Die Mastälber erhielten täglich gewichtsabhängig Milchaustauscher (1,8-2,0 % ihres Lebendgewichtes) in einer Konzen-

tration von 170-220 g Milchaustauscher/l Tränke.

Die Zwergziegen wurden lediglich mit Heu gefüttert bei freiem Zugang zu Salzlecksteinen.

Die Ferkel standen im ersten Mastabschnitt und erhielten bei rationierter Automatenfütterung ein handelsübliches Alleinfutter für Mastschweine der Energiestufe II.

Die Dalmatiner und Beagle erhielten ein Futter folgender Zusammensetzung (Angaben in %):

Rohprotein	30,1	Asche	7,0
Rohfett	9,9	Calcium	1,7
NFE	39,0	Natrium	0,24
Wasser	11,8	Kalium	0,56
Rohfaser	2,2	Phosphor	1,3

Die Masthähnchen erhielten Mastfutter nach DLG zur freien Aufnahme mit 0,95 % Ca.

3.4. VERWENDETE GERÄTE

Es standen folgende Meßgeräte zur Verfügung:

- AVL-Gas-Check 940 Fa. AVL, Schaffhausen
- AVL-Elektrolytanalyzer 980, Fa. AVL, Schaffhausen
- IL 1303 Blutgasanalysator Fa. Instrumentation Laboratory, Hersel
- IL 237 Tonometer " "
- IL 282 CO-Oximeter " "
- Orion SS-20 Calciumanalyzer Fa. Colora Meßtechnik, Lorch
- AAS Perkin Elmer 380
- Eppendorf Zentrifuge 3200
- Mettler H 10 T-Waage
- Rechner, Hewlett-Packard 9825A

3.5. RECHNERISCHE AUSWERTUNG UND DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Aus den erhaltenen Meßdaten wurde das arithmetische Mittel $\bar{x}$ und die Standardabweichung SD errechnet. Für die Auswertung der Versuche wurden die Meßwerte der beiden Blutgasanalysatoren gleichwertig herangezogen.

Die angegebenen Gesamtcalciumkonzentrationen wurden durch Atomabsorption ermittelt. Die Meßergebnisse wurden in Tabellen ($\bar{x} \pm SD$) zusammengefaßt. Zur besseren Veranschaulichung wurden den Tabellen zum Teil Schaubilder gegenübergestellt.

Die Calciumkonzentrationen wurden in mmol/l angegeben. Der Kohlendioxidpartialdruck wurde in mm Hg gemessen.

3.6. TONOMETRIE

Die Äquilibration der Blutproben erfolgte in einem Tonometer IL 237. Bei diesem Gerät sind sowohl der Gasbefeuchter als auch das Äquilibriergefäß von einem temperierten Wasserbad vollkommen umschlossen. Die Sättigung des durchströmenden Gasgemisches mit Wasserdampf sollte eine Probeneindikung durch eine Äquilibration mit trockenem Gas vermeiden. Die diskontinuierliche Rotation des Probenbehälters sollte durch die Erzeugung einer möglichst großen Kontaktfläche zwischen Äquilibriergas und Blutprobe die Äquilibrierdauer verkürzen. Eine eingebaute Zeituhr mit akustischem Signal gewährleistete eine gleich lange Begasung aller Blutproben.

Es wurden jeweils 2 ml Blut 3 Minuten lang begast. Am Tonometer wurde der Gasfluß mit einem eingebauten Strömungsmesser auf 350 ml/Minute begrenzt.

Zur Begasung wurden Prüfgase der Fa. Linde (München) mit 4,0 Vol%, 5,0 Vol% bzw. 8,0 Vol% Kohlendioxid, Rest Sauerstoff verwendet. Die gewählte Temperatur des Wasserbades richtete sich immer nach der Körpertemperatur der Tierart, deren Blut zur Untersuchung kam.

Die Körpertemperaturen bei den einzelnen Tierarten betrugen:

- Milchkuh	38,0°C	- Pony	37,5°C
- Aufzuchtkalb	38,5°C	- Ferkel	38,0°C
- Mastkalb	38,5°C	- Hunde	39,0°C
- Zwergziege	38,0°C	- Masthähnchen	40,0°C
- Schaf	39,0°C		

3.7. CALCIUM-MESSUNGEN

Während einer Probenanalyse wurden folgende Bestimmungen des Calciums durchgeführt:

- ionisiertes Calcium im Blut und im Plasma mit AVL 980
- ionisiertes Calcium im Blut mit Orion SS-20
- Gesamtcalcium im Plasma mit IL 950 (titrimetrisch)
- Gesamtcalcium im Plasma mittels Atomabsorption.

3.7.1. Ionisiertes Calcium

Nach der Durchführung der Blutgasmessungen erfolgte die Calciumionenbestimmung im Vollblut mit dem AVL 980 (60-100 μl /Bestimmung) und mit dem Orion SS-20 (0,5 ml/Bestimmung). Der AVL 980 bestimmte neben dem ionisierten Anteil des Calciums (Meßbereich 0,1-10,0 mmol/l) auch die ionisierten Anteile von Natrium im Bereich von 10 bis 250 mmol/l und von Kalium im Bereich von 0,5 bis 25 mmol/l. Nach ungefähr 10 Messungen wurde die Genauigkeit des AVL 980 mit einer Standardlösung überprüft, die 150,0 mmol Na^+ /l, 5,0 mmol K^+ /l und 1,0 mmol Ca^{++} /l enthielt. Die Genauigkeit des Orion SS-20 wurde mit einem 1,0 mmolaren Calciumstandard überprüft, und bei Bedarf wurde die Empfindlichkeit der calciumsensitiven Elektrode mit einem 2,0 mmol Ca^{++} /l-Standard neu eingestellt. Beide Geräte wurden täglich vor Versuchsbeginn geeicht und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse mit Standardlösungen überprüft.

Zur Bestimmung des ionisierten Calciums und des Gesamtcalciums im Plasma wurden Eppendorf-Reaktionsgefäße (1,5 ml) mit Vollblut gefüllt und bei 12 000 U_{pm} 2 Minuten lang zentrifugiert. Das Plasma zur Bestimmung des Gesamtcalciums mittels Atomabsorption und EGTA-Titration bzw. zur Bestimmung des ionisierten Calciums mit dem AVL-Gerät wurde bis zur Untersuchung in einem mit einem Plastikdeckel verschlossenen Reaktionsgefäß bei 4°C gelagert. Eine zusätzliche Bestimmung des ionisierten Calciums im Plasma mit dem Orion SS-20 erfolgte nur sporadisch, da dieses Gerät 0,5 ml/Bestimmung benötigte und das Probenmaterial mengenmäßig begrenzt war.

3.7.2. Gesamtcalcium

- EGTA-Titration:

Beim Calciumanalyzer IL 950 wurde nach Zugabe der Plasma-
probe automatisch die notwendige EGTA-Menge zutitriert.

- Atomabsorption:

Zur Gesamtcalciumbestimmung mit dem Atomabsorptionsgerät wurde eine Eichlösung hergestellt, die die mengenmäßig wichtigsten Elektrolyte in physiologischer Konzentration enthielt:

Calcium	0,1 g/l $\hat{=}$ 2,50 mmol/l
Kalium	0,15 g/l
Natrium	3,30 g/l
Magnesium	0,02 g/l

Das Atomabsorptionsspektrometer wurde mit 1 : 51 Verdünnungen (100 μ l Standard + 5,0 ml Verdünnungslösung) des Standards geeicht. Da in diesem Meßbereich die Extinktionskurve nahezu gerade verläuft, konnte nach einer Zweipunkteichung (Ansaugen von Luft zur Bestimmung des Nullpunktes und Festlegung des 2,50 mmol/l-Wertes mit der Eichlösung) die Messung mit 1:51-Verdünnungen der Plasmaproben durchgeführt werden. Als Verdünnungslösung wurde eine 0,25%ige (G/V) Strontiumchloridlösung mit 6% Butanol verwendet.

Geräteparameter: Perkin Elmer 380

Analysenwellenlänge	422,7 nm
Spektrale Bandbreite des Monochromators	2,0 nm
Lampenstrom der Intensitron Hohlkathodenlampe	15 mA
Dreischlitz-Brenner	
Brenngas: Acetylen bei 0,9 bar Druck	
Oxidans: Preßluft bei 0,5 bar Druck	

Nach ungefähr 8 Sekunden blieb die digitale Meßwertanzeige stabil und die Calciumkonzentration wurde abgelesen. Jede Probe wurde doppelt gemessen.

3.8. BLUTGASMESSUNG

Zur Blutgasmessung im venösen Blut standen zwei Blutgasanalysatoren zur Verfügung:

- AVL 940
- IL 1303

Die Analysatoren wurden jeden Tag vor Versuchsbeginn mit einer Eichlösung (Contrill^R, Fa. IL) überprüft. Dabei zeigte sich, daß das AVL-Gerät in der Regel höhere Werte für den pH anzeigte, jedoch im Meßbereich blieb, der für diese Eichlösung angegeben war. Nach Bestimmung des Hämoglobingehaltes der Probe mit einem CO-Oximeter 282 wurden die Daten für Hämoglobin und Temperatur den Analysatoren eingegeben und die Messung konnte durchgeführt werden.

Zur Untersuchung des Einflusses der Lagerungsdauer, Lagerungstemperatur und Zeitpunkt der Plasmaabtrennung wurden 40 ml Kälberblut auf 4 Aliquote aufgeteilt. Von 2 Proben wurde das Plasma bei 3000 Upm 10 Minuten lang unter Paraffin abgetrennt. Jeweils 10 ml einer Vollblutprobe und eine Plasmaprobe wurden bei 4°C bzw. bei Raumtemperatur (28°C) in verschlossenen Plastikspritzen gelagert. Nach 0, 4, 8 und 24 Stunden wurden pH, Blutgase, ionisiertes Calcium im Vollblut und im Plasma und das Gesamtcalcium im Plasma (AAS und EGTA-Titration) bestimmt.

3.9. MESSGENAUIGKEIT BEI DER BESTIMMUNG VERSCHIEDENER PARAMETER

Zur Bestimmung der Meßgenauigkeit mit den verschiedenen
Geräten

- CO-Oximeter
- Blutgasanalysatoren IL 1303 und AVL 940
- Calciumanalysatoren IL 950 (Gesamtcalcium) und
AVL 980 (ionisiertes Calcium)
- Perkin Elmer 380 (Atomabsorption)

wurden einem Kalb 50 ml Blut anaerob aus der Vena jugula-
ris entnommen und im Eiswasser gelagert. Zur Plasmagewin-
nung wurden 20 Eppendorf-Reaktionsgefäße (1,5 ml) mit Blut
gefüllt und bei 12 000 Upm 2 Minuten lang zentrifugiert.
Das überstehende Plasma diente zur Gesamtcalciumbestimmung
mittels Atomabsorption und EGTA-Titration und zur Calcium-
ionenbestimmung mittels AVL-980-Elektrolytanalyzer.

Tab. 15: Ergebnisse von 20 Vergleichsmessungen einer Blut-
probe mit den unterschiedlichen verwendeten Geräten

	pH _{AVL}	pCO ₂ mmHg	pH _{IL}	pCO ₂ mmHg	Ca ⁺⁺ _{Vb} mmol/l	Ca ⁺⁺ _{Pl} mmol/l	Ca-Ges _{IL} mmol/l	Ca-Ges _{AAS} mmol/l	Hb g%
$\bar{x}$	7,35	51,48	7,32	52,35	1,05	1,02	2,37	2,33	10,61
$\pm SD$	0,015	0,8464	0,007	1,4834	0,032	0,047	0,175	0,083	0,030

Die geringsten Abweichungen ergaben sich für die pH-Messung.
Die beiden Geräte verhielten sich dabei wie bei den Messun-
gen mit der Eichlösung, d.h. das AVL-Gerät zeigte etwas hö-
here Werte an. Die Standardabweichungen für den Kohlendioxid-
partialdruck lagen über den von den Herstellern angegebenen
Daten. Für die Gesamtcalciumbestimmung ergaben sich gut re-

produzierbare Werte, obwohl hierfür mehr Arbeitsschritte notwendig waren und es sich daher eine Fehlerhäufung hätte ergeben können.

3.10. VERGLEICH EINZELNER BESTIMMUNGSMETHODEN BZW. GERÄTE

3.10.1. Bestimmung der Säure-Basen-Parameter pH und $p\text{CO}_2$ mit zwei verschiedenen Blutgasanalysatoren: AVL 940 und IL 1303

Bei der vergleichenden Bestimmung des pH und des $p\text{CO}_2$ -Wertes wurden mit dem AVL-Gerät um $0,01 \pm 0,035$ pH-Einheiten höhere und für den Kohlendioxidpartialdruck um $0,89 \pm 2,58$ mm Hg niedrigere Werte ermittelt als mit dem IL 1303-Gerät. Für die pH-Werte waren die Differenzen der Mittelwerte sehr gering. Bei den Kohlendioxidpartialdrücken unterschieden sich die Mittelwerte der Ergebnisse beider Blutgasanalysatoren in Einzelfällen bis zu $\pm 10\%$ des Meßwertes. Das Ergebnis entspricht damit den Unterschieden, wie sie bei den Mehrfachbestimmungen einer Blutprobe erhalten wurden.

3.10.2. Bestimmung des ionisierten Calciums mit zwei verschiedenen Calciumanalyzern: AVL 980 und Orion SS-20

Bei einer Reihe von Versuchen stand zur Bestimmung des ionisierten Anteils des Calciums neben dem Elektrolytanalyzer AVL 980 auch ein Orion SS-20 Calciumanalyzer als Referenzgerät zur Verfügung. Mit diesen beiden Geräten wurden parallel die Calciumionenkonzentrationen in Blut- und Plasmaproben bestimmt. Es wurden insgesamt 37 Wertepaare vergleichend ausgewertet. Die mit dem Orion-Gerät ermittelten Mittelwerte lagen um durchschnittlich $0,05 \pm 0,045$ mmol/l über den mit dem AVL-Elektrolytanalyzer bestimmten Mittelwerten. Die Differenzen ($[\text{Ca}^{++}]_{\text{AVL}} - [\text{Ca}^{++}]_{\text{Orion}}$) der Mittelwerte streuten im Bereich $-0,06$ bis $+0,13$ mmol/l.

3.10.3. Bestimmung des Gesamtcalciums mittels Atomabsorption bzw. EGTA-Titration

Um die Ergebnisse der Gesamtcalciumbestimmung vergleichen zu können wurden 31 Mittelwert-Paare ausgewertet. Die Differenzen der Mittelwerte ($[\text{Calcium}]_{\text{AAS}} - [\text{Calcium}]_{\text{Titration}}$) schwankten von $-0,28$ bis $+0,22$ mmol/l. Die mit der Atomabsorption erhaltenen Mittelwerte lagen um durchschnittlich $0,06 \pm 0,147$ mmol/l höher als die mittels Titration erhaltenen. Bei der EGTA-Titration streuten die Meßwerte stärker als bei der Atomabsorption.

4. E R G E B N I S S E

4.1. NORMALWERTE FÜR GESAMTCALCIUM UND IONISIERTES CALCIUM UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON pH UND pCO_2 IM VENENBLUT VERSCHIEDENER TIERARTEN

Die Tabellen 16 a-f enthalten eine Zusammenstellung der von uns gemessenen aktuellen Werte ($\bar{x} \pm SD$) für das Gesamtcalcium im Plasma (Ca_{Ges}), für das ionisierte Calcium im Vollblut (Ca_{Vb}^{++}) und im Plasma (Ca_{Pl}^{++}) und für den prozentualen Anteil des ionisierten Calciums im Vollblut ($\%Ca^{++}$) unter Berücksichtigung von pH und Kohlendioxidpartialdruck bei den untersuchten Spezies.

Tab. 16a:

Tierart	pCO_2 mmHG	pH	Ca_{Ges} mmol/l	Ca_{Vb}^{++} mmol/l	$\%Ca^{++}$	Ca_{Pl}^{++} mmol/l	n
Milchkühe	46,67 ¹⁾	7,364	2,45	0,98	40,1	0,96	8
	4,295 ²⁾	0,024	0,109	0,075	3,52	0,070	
Aufzuchtkalb	50,35	7,369	2,25	1,08	48,1	1,04	8
	4,186	0,028	0,078	0,107	3,30	0,110	
Mastkalb nüchtern	51,54	7,347	2,37	1,05	44,4	1,00	11
	2,931	0,054	0,117	0,078	2,97	0,105	
Mastkalb gefüttert	53,18	7,379	2,32	1,11	48,9	1,08	11
	3,805	0,023	0,121	0,235	6,35	0,119	

Tab. 16b:

Ziegen nüchtern	45,22 3,177	7,355 0,018	2,00 0,185	1,03 0,058	51,7 4,69	1,00 0,058	9
Ziegen gefüttert	45,45 2,807	7,405 0,024	2,20 0,011	1,03 0,060	46,9 2,10	0,97 0,066	9
Schafe	43,39 7,769	7,353 0,032	2,67 0,207	1,01 0,165	38,4 3,82	0,94 0,016	8

1) = $\bar{x}$ 2) = $\pm SD$

Tabelle 16, Fortsetzung:

Tab. 16c:

Tierart	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{Vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺	Ca _{Pl} ⁺⁺ mmol/l	n
Beagle	41,59	7,304	2,54	0,98	38,4	1,00	17
	3,717	0,057	0,089	0,066	1,64	0,055	
Dalmatiner	38,64	7,311	2,50	1,03	41,2	1,03	13
	2,973	0,033	0,090	0,061	2,68	0,077	

Tab. 16d:

Ferkel nüchtern	58,42	7,246	2,40	1,02	42,5	1,03	10
	12,755	0,085	0,143	0,055	3,58	0,060	
Ferkel gefüttert	49,57	7,238	2,47	1,08	43,9	1,03	10
	10,182	0,071	0,149	0,059	3,85	0,074	

Tab. 16e:

Shetland	49,64 ¹⁾	7,337	2,21	1,36	61,4	1,25	6
Ponys	1,686 ²⁾	0,050	0,107	0,084	1,91	0,050	

Tab. 16f:

Masthähnchen	63,26	7,202	2,30	1,27	52,2	1,25	8
	5,744	0,048	0,322	0,084	4,71	0,079	

Milchkühe, Aufzuchtälber und Mastälber:

Von den $2,45 \pm 0,109$ mmol/l des Gesamtcalciums im Plasma lagen bei den Milchkühen im Vollblut $40,1 \pm 3,52\%$ in der ionisierten Form vor. Bei einem niedrigeren Gesamtcalciumgehalt des Plasmas wiesen die Aufzuchtälber und die Mastälber sowohl prozentual als auch absolut höhere Calciumionenkonzentrationen im heparinisierten Vollblut auf (Tab. 16a).

1) = $\bar{x}$ 2) = $\pm SD$

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Häufigkeitsverteilung des Gesamtcalciums im Plasma und des ionisierten Calciums im Vollblut aller untersuchten Kälber ($n = 30$).

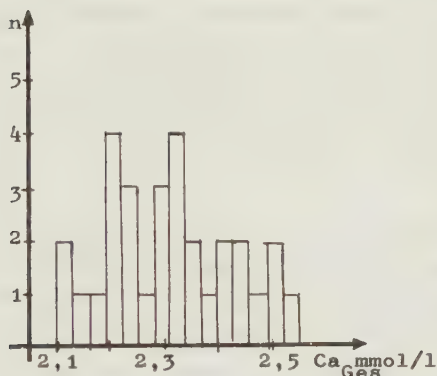


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung des Gesamtcalciums im Plasma

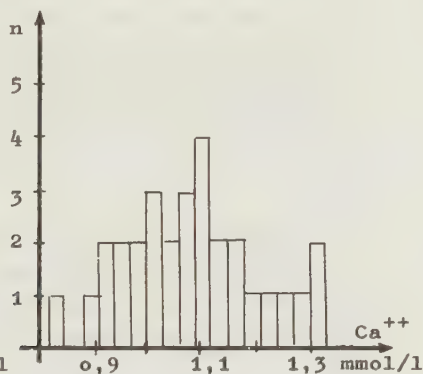


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung des ionisierten Calciums im Vollblut

Ziegen:

Von den adulten Wiederkäuern hatten die Zwergziegen mit $2,00 \pm 0,185$ mmol/l (nüchtern) bzw. $2,20 \pm 0,011$ mmol/l (gefüttert) die niedrigsten Gesamtcalciumkonzentrationen im Plasma. Sie wiesen im Vollblut mit $1,03 \pm 0,058$ mmol/l, das sind $51,7 \pm 4,69\%$, mehr Calcium in der ionisierten Form auf als Schafe oder Milchkühe (Tab. 16a + b).

Schafe:

Der höchste Gesamtcalciumgehalt des Plasmas der adulten Wiederkäuer konnte bei den Schafen mit $2,67 \pm 0,207$ mmol/l ermittelt werden. Als ionisiertes Calcium konnten $1,01 \pm 0,165$ mmol/l bestimmt werden.

Es konnte festgestellt werden, daß die pH-Werte in der Wiederkäuergruppe bis auf die Gruppe der Ziegen nach der Füt-

terung, die mit $7,405 \pm 0,024$ einen etwas höheren pH-Wert erreichten, nicht stark voneinander abwichen (Tab. 16a + b).

Der pCO_2 betrug für Schafe im Mittel $43,39 \pm 7,769$ mm Hg und für Ziegen $45,22 \pm 3,177$ (nüchtern) bzw. $45,45 \pm 2,807$ mm Hg (gefüttert). Von den adulten Tieren hatten die Milchkühe mit $46,67 \pm 4,295$ mm Hg den höchsten Kohlendioxidpartialdruck. Die Kälber erreichten mit $50,35 \pm 5,186$ (♀, 2-10 Monate) bzw. $53,18 \pm 3,795$ mm Hg (gefütterte Mastkälber) ungefähr um 6 mm Hg höhere Kohlendioxidpartialdrücke als die Gruppe der Milchkühe.

Hunde:

Obwohl die Dalmatiner mit $2,50 \pm 0,090$ mmol/l einen um 0,04 mmol/l geringeren Gesamtcalciumgehalt im venösen Blut hatten als die Gruppe der Beagle mit $2,54 \pm 0,089$ mmol/l, wiesen sie mit $1,03 \pm 0,061$ mmol/l ($41,2 \pm 2,68\%$) gegenüber $0,98 \pm 0,066$ mmol/l ($38,4 \pm 1,64\%$) sowohl den absolut als auch prozentual höheren Anteil an ionisiertem Calcium auf. Der pH-Wert des Blutes betrug bei den Dalmatinern $7,311 \pm 0,033$ und bei den Beagle $7,304 \pm 0,057$. Die Hunde besaßen den niedrigsten Kohlendioxidpartialdruck aller untersuchten Tierarten (Tab. 16c).

Ponys:

Mit $61,5 \pm 1,91\%$ und $1,36 \pm 0,084$ mmol/l hatten die Ponys den höchsten Gehalt an ionisiertem Calcium. Dabei betrug der Gesamtcalciumgehalt des Plasmas $2,21 \pm 0,107$ mmol/l. Der pH mit $7,337 \pm 0,050$ und der pCO_2 mit $49,6 \pm 1,686$ mm Hg im venösen Blut wichen nicht von den Werten im venösen Blut der übrigen Tierarten ab (Tab. 16c).

Ferkel:

Bei einem Gesamtcalciumgehalt von $2,40 \pm 0,143$ mmol/l (nüchtern) bzw. $2,47 \pm 0,149$ mmol/l (gefüttert) und einem pH von $7,246 \pm 0,085$ (nüchtern) bzw. $7,238 \pm 0,071$ (gefüttert) sind bei den Ferkeln ungefähr 43% des Calciums ionisiert ($1,02 \pm 0,055$ mmol/l, nüchtern bzw. $1,08 \pm 0,059$ mmol/l, gefüttert) (Tab. 16d).

Masthähnchen:

10wöchige Masthähnchen hatten mit $1,27 \pm 0,084$ mmol/l bei $2,30 \pm 0,322$ mmol/l Gesamtcalcium $52,2 \pm 4,71$ % in der ionisierten Form vorliegen. Der pH betrug $7,202 \pm 0,048$ bei einem pCO_2 von $63,26 \pm 5,744$ mm Hg (Tab. 16f).

4.2. EINFLUSS DER LAGERUNGSDAUER UND DER LAGERUNGSTEMPERATUR AUF DEN GEHALT AN GESAMTCALCIUM UND IONISIERTEM CALCIUM IM KÄLBERBLUT (PLASMA UND VOLLBLUT) UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON pH UND KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK

Die Art der Aufbewahrung von Blutproben spielt bei der Erfassung des Säure-Basen-Haushaltes, der Blutgase und des ionisierten Calciums eine gewisse Rolle. Um diesen Effekt bei der Durchführung des Untersuchungsprogramms berücksichtigen zu können, wurde ein Versuch über den Einfluß der Lagerungsdauer und der Lagerungstemperatur auf Gesamtcalcium, ionisiertes Calcium, pH und pCO_2 sowohl im Vollblut als auch im Plasma von Kälberblut durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 17 a-d aufgezeigt. Die Blutproben wurden nach 0, 4, 8 und 24 Stunden Lagerung bei Raumtemperatur und 4°C analysiert.

Plasma:

Es konnte festgestellt werden, daß es bei der Lagerung von Plasma bei Raumtemperatur zu keiner deutlichen Veränderung des Gesamtcalciumgehaltes der Proben kam. (Nativ $2,28 \pm 0,108$ mmol/l auf $2,30 \pm 0,174$ mmol/l nach 24 Stunden). Bei 4°C sank der Gesamtcalciumgehalt des Plasmas von $2,28 \pm 0,108$ mmol/l auf $2,15 \pm 0,055$ mmol/l bei 24stündiger Aufbewahrung (Tab. 17b+d).

Die Konzentration des ionisierten Calciums nahm bei Raumtemperatur nach 4 Stunden um $0,04$ mmol/l auf $1,02 \pm 0,056$ mmol/l ($44,5 \pm 4,84$ %) ab und stieg nach 24 Stunden auf $1,09 \pm 0,069$ mmol/l ($47,4 \pm 2,94$ %). Absoluter und prozentualer Anteil des ionisierten Calciums nahmen in der Anfangsphase der Lagerung (4 Stunden) des Plasmas bei Raumtemperatur ab und spä-

ter wieder zu. Die Konzentration des ionisierten Calciums in den gekühlten Plasmaproben blieb in den ersten 8 Stunden konstant und nahm mit fortschreitender Lagerung auf $1,10 \pm 0,066$ mmol Ca^{++}/l zu (24-Stunden-Wert). Der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums im gekühlt aufbewahrten Plasma erhöhte sich während der Lagerung kontinuierlich von $47,1 \pm 3,42\%$ auf $51,2 \pm 2,40\%$ (Tab. 17b + d).

Die Veränderungen des pH und des Kohlendioxidpartialdrucks im Plasma waren bei beiden Temperaturen in den ersten 8 Stunden minimal. Zwischen 8 und 24 Stunden Lagerung kam es zu einem pH-Abfall von $7,398 \pm 0,021$ auf $7,245 \pm 0,043$ bei den Raumtemperaturproben und auf $7,376 \pm 0,033$ in den Plasmaproben im Kühlschrank. Während der pCO_2 des kühlschrankgelagerten Plasmas nur wenig anstieg, nahm der pCO_2 bei Raumtemperatur zwischen 8 und 24 Stunden sprunghaft von $42,81 \pm 2,026$ auf $63,02 \pm 8,439$ mm Hg zu.

Vollblut:

Der Gesamtcalciumgehalt zeigte während der Lagerung der Vollblutproben kein einheitliches Verhalten. Bei Raumtemperatur nahm der Gesamtcalciumgehalt nach 24 Stunden Lagerung nur geringfügig von $2,26 \pm 0,120$ mmol/l auf $2,24 \pm 0,080$ mmol/l etwas ab. In den gekühlten Vollblutproben nahm das Gesamtcalcium deutlicher von den $2,28 \pm 0,108$ mmol/l des Ausgangswertes auf $2,16 \pm 0,126$ mmol/l nach 24 Stunden ab. Das ionisierte Calcium stieg in beiden Fällen, bei Raumtemperatur und bei 4°C , von $1,09 \pm 0,059$ mmol/l ($48,4 \pm 2,59\%$) auf $1,13 \pm 0,041$ mmol/l ($52,6 \pm 2,68\%$) bei 4°C bzw. auf $1,15 \pm 0,087$ mmol/l ($48,0 \pm 4,16\%$) (bei Raumtemperatur) nach 24 Stunden Lagerung. Mit dem absoluten Anteil des ionisierten Calciums erhöhte sich auch der prozentuale Anteil von $48,4 \pm 2,59\%$ auf über 52% nach 24 Stunden bei 4°C , wogegen er in den Raumtemperaturproben nach einem vorübergehenden Anstieg auf $48,0 \pm 4,16\%$ absank (Tab. 17a + c).

Der pH des Vollblutes nahm bei Raumtemperatur kontinuierlich von $7,331 \pm 0,017$ auf $7,115 \pm 0,045$ nach 24 Stunden ab. Der pCO_2 stieg von $52,39 \pm 3,177$ mm Hg auf $82,90 \pm 9,558$ mm Hg an.

Die Lagerung im Kühlschrank führte in den ersten 8 Stunden zu einem leichten pH-Anstieg in den Vollblutproben und nach 24 Stunden zu einem geringfügigen Abfall auf $\text{pH } 7,283 \pm 0,027$. Der pCO_2 nahm nach 24 Stunden Lagerung nur um ungefähr 3 mm Hg auf $55,61 \pm 2,472$ mm Hg zu.

Tab. 17: Verhalten der aktuellen Meßwerte ($\bar{x} \pm \text{SD}$) im Verlauf einer 24stündigen Lagerung (Kalb, $n = 7$)

a) Vollblut bei Raumtemperatur (28°C)

Lagerungs- dauer	pCO_2 mmHg	pH	Ca_{Ges} mmol/l	$\text{Ca}_{\text{Vb}}^{++}$ mmol/l	$\%\text{Ca}^{++}$	$\text{Ca}_{\text{Pl}}^{++}$ mmol/l
0 Std.	53,39 ¹⁾ 3,177 ²⁾	7,331 0,017	2,26 0,120	1,09 0,059	48,4 2,59	1,07 0,059
4 Std.	55,31 3,088	7,298 0,023	2,26 0,144	1,13 0,075	50,0 3,40	1,05 0,079
8 Std.	60,14 3,208	7,279 0,031	2,18 0,113	1,12 0,093	51,4 3,62	1,00 0,102
24 Std.	82,90 9,558	7,115 0,045	2,24 0,080	1,15 0,087	48,0 4,16	1,07 0,091

b) Plasma bei Raumtemperatur (28°C)

0 Std.	42,81 2,026	7,398 0,021	2,28 0,108		47,1 3,42	1,06 0,085
4 Std.	43,59 2,111	7,395 0,027	2,30 0,177		44,5 4,84	1,02 0,056
8 Std.	45,42 1,863	7,399 0,026	2,22 0,111		47,4 2,26	1,04 0,061
24 Std.	63,02 8,439	7,245 0,043	2,30 0,174		47,4 2,94	1,09 0,069

1) = $\bar{x}$

2) = $\pm \text{SD}$

Tabelle 17, Fortsetzung:

c) Vollblut bei 4°C

Lagerungs- dauer	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{Vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺	Ca _{Pl} ⁺⁺ mmol/l
0 Std.	52,39 3,177	7,331 0,017	2,26 0,120	1,09 0,059	48,4 2,59	1,07 0,059
4 Std.	52,69 2,915	7,333 0,019	2,35 0,126	1,10 0,056	47,0 1,78	1,05 0,085
8 Std.	53,24 3,329	7,338 0,021	2,18 0,102	1,15 0,073	52,9 3,86	1,00 0,049
24 Std.	55,61 2,472	7,283 0,027	2,16 0,126	1,13 0,041	52,6 2,68	1,09 0,056

d) Plasma bei 4°C

0 Std.	42,81 2,026	7,398 0,021	2,28 0,108		47,1 3,42	1,06 0,085
4 Std.	42,67 2,142	7,396 0,025	2,17 0,138		48,3 1,87	1,05 0,088
8 Std.	43,50 3,025	7,398 0,018	2,15 0,071		50,4 2,13	1,06 0,065
24 Std.	44,42 2,234	7,376 0,033	2,15 0,055		51,2 2,40	1,10 0,066

4.3. EINFLUSS DER LAGERUNGSDAUER BEI 4°C AUF DEN GESAMT-CALCIUMGEHALT, DAS IONISIERTE CALCIUM UND DEN PROZENTUALEN ANTEIL DES IONISIERTEN CALCIUMS IN VOLLBLUTPROBEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON pH UND KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK

Im allgemeinen kam es während der Lagerung der Vollblutproben in verschlossenen Plastikspritzen bei 4°C zu einer Abnahme der Gesamtcalciumkonzentration (nüchterne Mastkälber, Milchkühe, nüchterne Ziegen, Schafe, Ferkel, Dalmatiner). Gefütterte Mastkälber, Aufzuchtkälber und Masthähnchen wiesen in den gelagerten Proben höhere Gesamtcalciumkonzentrationen auf. Bei Shetland-Ponys erhöhte sich die Gesamtcalciumkonzentration am stärksten von $2,21 \pm 0,107$ mmol/l auf $2,73 \pm 0,157$ mmol/l nach 24 Stunden Lagerung (Tab. 18).

Für das ionisierte Calcium läßt sich kein einheitliches Verhalten feststellen. In der Mehrzahl der Versuche kam es zu einer Abnahme des ionisierten Calciums um 0,01 bis 0,04 mmol/l, bei Schafen sogar um 0,17 mmol/l auf $0,84 \pm 0,203$ mmol/l in der 24-Stunden-Probe. Im Vollblut von gefütterten Mastkälbern, gefütterten Ziegen, Milchkühen und Ponys wurden nach 24stündiger Kühlschranklagerung des Blutes höhere Calciumionenkonzentrationen gemessen als bei der Untersuchung unmittelbar nach der Blutentnahme.

Der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums nahm in den Proben der Ferkel, Dalmatiner, Schafe und nüchternen Mastkälber nur geringfügig zu. Milchkühe, Aufzuchtkälber und nüchterne Ziegen hatten nach 24 Stunden einen um ungefähr 4% höheren Calciumionenanteil. Bei Masthähnchen blieb er unverändert. Shetland-Ponys hatten nach 24stündiger Aufbewahrung der Vollblutprobe bei 4°C $50,8 \pm 3,17\%$ gegenüber $61,4 \pm 1,91\%$ (Nativwert) des Gesamtcalciums in der freien ionisierten Form vorliegen. Bei Mastkälbern (gefüttert) war die Abnahme von $48,9 \pm 6,35\%$ (Ausgangswert) auf $47,1 \pm 5,75\%$ nach 24 Stunden nur gering.

Die durch die Lagerung der Vollblutproben der verschiedenen Tierspezies bei 4°C verursachten Veränderungen des Gesamtcalciumgehaltes des Plasmas (Ca_{Ges}) und der Calciumionenkonzentration im Vollblut ($\text{Ca}_{\text{vb}}^{++}$) unter Berücksichtigung von pH und pCO_2 sind in den Tabellen 18 a-m zusammengefaßt.

Tab. 18: Verhalten der aktuellen Meßwerte ($\bar{x} \pm \text{SD}$) im Vollblut während 24stündiger Lagerung bei 4°C

a) Milchkühe (n = 8)

Lagerungs- dauer	pCO_2 mmHg	pH	Ca_{Ges} mmol/l	$\text{Ca}_{\text{vb}}^{++}$ mmol/l	% Ca^{++}
0 Std.	46,67 ¹⁾ 4,295 ²⁾	7,364 0,024	2,45 0,109	0,98 0,075	40,1 5,52
8 Std.	47,28 4,486	7,371 0,024	2,31 0,167	1,06 0,091	45,9 4,70
24 Std.	45,48 2,457	7,358 0,008	2,25 0,173	1,01 0,056	45,5 2,78

b) Aufzuchtkälber (n = 8)

0 Std.	50,35 5,186	7,369 0,028	2,25 0,078	1,08 0,107	48,1 3,30
8 Std.	51,61 5,009	7,365 0,026	2,19 0,056	1,07 0,095	49,1 4,12
24 Std.	52,84 6,178	7,354 0,034	2,29 0,192	1,06 0,099	46,9 2,54

c) Mastkälber nüchtern (n = 11)

0 Std.	51,34 2,931	7,347 0,054	2,37 0,117	1,05 0,078	44,4 2,97
8 Std.	52,59 2,609	7,349 0,023	2,30 0,119	1,03 0,075	45,0 3,39
24 Std.	56,40 3,101	7,324 0,026	2,24 0,131	1,03 0,091	47,7 2,98

1) = $\bar{x}$ 2) = $\pm \text{SD}$

Tab. 18, Fortsetzung

d) Mastkälber gefüttert (n=11)

Lagerungs- dauer	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{Vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺
0 Std.	53,18 3,805	7,379 0,023	2,32 0,121	1,11 0,235	48,9 6,35
8 Std.	57,26 5,049	7,358 0,027	2,35 0,195	1,09 0,108	48,6 6,21
24 Std.	57,53 3,894	7,318 0,027	2,40 0,107	1,13 0,125	47,1 5,75

e) Ziegen nüchtern (n=9)

0 Std.	45,22 3,177	7,355 0,018	2,00 0,185	1,03 0,058	51,7 4,69
8 Std.	45,73 3,555	7,362 0,029	1,95 0,467	1,02 0,060	46,6 4,69
24 Std.	48,21 3,213	7,327 0,042	1,82 0,070	1,02 0,076	56,1 4,49

f) Ziegen gefüttert (n=9)

0 Std.	45,45 2,807	7,405 0,024	2,20 0,114	1,03 0,060	46,9 2,10
8 Std.	47,08 2,338	7,379 0,031	--	1,00 0,063	--
24 Std.	44,91 6,815	7,344 0,042	--	1,05 0,077	--

g) Schafe (n=8)

0 Std.	43,39 7,769	7,353 0,032	2,67 0,207	1,01 0,165	38,4 3,82
8 Std.	46,37 6,460	7,326 0,038	2,55 0,391	0,97 0,166	39,8 3,96
24 Std.	49,55 8,588	7,296 0,042	2,35 0,276	0,84 0,203	41,6 7,17

Tab. 18, Fortsetzung

h) Shetland-Ponys (n=6)

Lagerungs- dauer	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{Vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺
0 Std.	49,64 1,686	7,337 0,050	2,21 0,107	1,36 0,084	61,4 1,91
8 Std.	50,63 1,966	7,379 0,017	2,25 0,198	1,30 0,116	57,7 1,97
24 Std.	56,66 2,463	7,324 0,025	2,73 0,157	1,38 0,069	50,8 3,17

i) Ferkel nüchtern (n=10)

0 Std.	58,42 12,755	7,246 0,085	2,40 0,143	1,02 0,055	42,5 3,58
8 Std.	60,59 12,938	7,185 0,074	2,28 0,223	1,04 0,063	46,0 4,92
24 Std.	59,38 13,064	7,230 0,075	2,23 0,138	1,00 0,064	45,4 5,18

k) Ferkel gefüttert (n=10)

0 Std.	49,57 10,182	7,328 0,071	2,47 0,149	1,08 0,059	43,9 3,85
8 Std.	62,16 11,340	7,201 0,078	2,44 0,237	1,05 0,040	43,2 4,12
24 Std.	63,81 7,966	7,198 0,074	2,36 0,137	1,04 0,072	44,4 4,57

l) Dalmatiner (n=13)

0 Std.	38,64 2,973	7,311 0,033	2,50 0,090	1,03 0,061	41,2 2,68
8 Std.	42,98 2,717	7,264 0,022	2,50 0,096	1,03 0,067	41,6 2,58
24 Std.	48,69 3,023	7,188 0,025	2,33 0,119	1,00 0,080	43,2 3,36

Tab. 18, Fortsetzung

m) Masthähnchen (n=8)

Lagerungs- dauer	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{Vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺
0 Std.	63,26 5,744	7,202 0,048	2,30 0,322	1,27 0,084	52,2 4,71
8 Std.	67,91 7,297	7,192 0,037	2,40 0,098	1,27 0,074	53,0 3,20
24 Std.	68,50 5,847	7,163 0,045	2,47 0,205	1,27 0,073	52,0 4,85

Der pH-Wert unterlag während der Lagerung bei 4°C uneinheitlichen Verschiebungen. Innerhalb der ersten 8 Stunden der Lagerung kam es zu geringen pH-Zunahmen im Blut nüchterner Ziegen, Shetland-Ponys, nüchterner Mastkälber und von Milchkühen. Geringe pH-Abnahmen wurden nach 8 Stunden Aufbewahrung in den Vollblutproben von gefütterten Mastkälbern, weiblichen Aufzuchtkälbern, gefütterten Ziegen, Schafen, gefütterten Ferkeln und Masthähnchen gemessen. Im Blut nüchterner Ferkel und im Blut der Gruppe der Dalmatiner lag der pH nach 8 Stunden um ca. 0,05 pH-Einheiten unter dem Ausgangswert.

Nach 24 Stunden lag der pH der meisten Proben um 0,02 bis 0,04 Einheiten unter dem anfangs gemessenen Wert. Bei gefütterten Mastkälbern, gefütterten Ziegen und bei Schafen betrug die pH-Abnahme während der 24stündigen Lagerung ungefähr 0,06 pH-Einheiten und in der Gruppe der Dalmatiner sogar 0,12 pH-Einheiten.

Der Kohlendioxidpartialdruck nahm in allen Proben während der Lagerung in den ersten 8 Stunden zu. Die stärkste pCO₂-Zunahme nach 8 Stunden von 49,57±10,182 mm Hg auf 62,16±11,340 mm Hg wurde im Blut der gefütterten Ferkel gemessen. Zwischen 8 und 24 Stunden Lagerung verlangsamte sich die pCO₂-Zunahme. In den Proben von gefütterten Ziegen und von Milchkühen sank der pCO₂ mit 45,48±2,45 mm.Hg (Kühe) bzw. 44,91±6,81 mm Hg (Ziege) sogar unter die Ausgangswerte.

4.4. AUSWIRKUNGEN DER NAHRUNGAUFNAHME AUF GESAMTCALCIUM UND IONISIERTES CALCIUM UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON WASSERSTOFFIONENKONZENTRATION UND pCO_2

Bei drei Versuchsgruppen (Mastkälber, Ziegen, Ferkel) wurden vor und nach der regulären Fütterung Blutproben zur Bestimmung von Gesamtcalcium, ionisiertem Calcium, pH und Kohlendioxidpartialdruck entnommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tabellen 19 a-c dargestellt.

Tab. 19: Gegenüberstellung der aktuellen Meßwerte ($\bar{x} \pm SD$) der Gesamtcalciumkonzentration (Ca_{Ges}) im Plasma und des ionisierten Calciums im Vollblut (Ca_{Vb}^{++})

Tab. 19a: (n=11)

Tierart	pCO_2 mmHg	pH	Ca_{Ges} mmol/l	Ca_{Vb}^{++} mmol/l	% Ca^{++}
Mastkälber nüchtern	51,34 ¹⁾	7,347	2,37	1,05	44,4
	2,931 ²⁾	0,054	0,117	0,078	2,97
Mastkälber gefüttert	53,18	7,379	2,32	1,11	48,9
	3,805	0,023	0,121	0,235	6,35

Tab. 19b: (n=9)

Ziegen nüchtern	45,22	7,355	2,00	1,03	51,7
	3,177	0,018	0,185	0,058	4,69
Ziegen gefüttert	45,45	7,405	2,20	1,03	46,9
	2,807	0,024	0,114	0,060	2,10

Tab. 19c: (n=10)

Ferkel nüchtern	58,42	7,246	2,40	1,02	42,5
	12,755	0,085	0,143	0,055	3,58
Ferkel gefüttert	49,57	7,238	2,47	1,08	43,9
	10,182	0,071	0,149	0,059	3,85

1) = $\bar{x}$, 2) = $\pm SD$

Es zeigte sich dabei, daß die Futteraufnahme bei allen drei untersuchten Tierspezies ohne eindeutigen Effekt auf die gemessenen Werte blieb (s. Tab. 19a-c).

Der Gesamtcalciumgehalt unterlag unter dem Einfluß der Fütterung nur geringen Schwankungen. So betrug der Calciumgehalt des Plasmas bei Mastkälbern vor der Fütterung $2,37 \pm 0,117$ mmol/l und nach der Fütterung $2,32 \pm 0,121$ mmol/l. Bei den Ziegen stieg er von $2,00 \pm 0,185$ auf $2,20 \pm 0,114$ mmol/l und bei den Ferkeln von $2,40 \pm 0,143$ auf $2,47 \pm 0,149$ mmol/l nach der Futteraufnahme, wobei zu bemerken ist, daß die Ziegen mit $2,00 \pm 0,185$ (nüchtern) bzw. $2,20 \pm 0,114$ mmol/l (gefüttert) den niedrigsten Gesamtcalciumgehalt aufwiesen.

Der Anteil des ionisierten Calciums erhöhte sich von $1,05 \pm 0,078$ (44,4 $\pm$ 2,97%) (nüchtern) auf $1,11 \pm 0,235$ mmol/l (48,9 $\pm$ 6,35%, gefüttert) bei den Kälbern, bei den Ferkeln von $1,02 \pm 0,055$ (42,5 $\pm$ 3,58%) auf $1,08 \pm 0,059$ mmol/l (43,9 $\pm$ 3,85%) bei den gefütterten Tieren und blieb bei den Ziegen mit $1,03 \pm 0,060$ mmol/l konstant, bei einer prozentualen Abnahme um 3,8 % auf 46,9 $\pm$ 2,10% nach der Fütterung.

Mastkälber und Ziegen hatten nach der Fütterung ein um 0,03 bzw. 0,05 pH-Einheiten alkalischeres Blut. Bei beiden Tiergruppen nahm nach der Fütterung der Kohlendioxidpartialdruck des venösen Blutes geringfügig zu. In der Gruppe der Ferkel wiesen die nüchternen Tiere mit pH 7,246 $\pm$ 0,085 eine etwas höhere Wasserstoffionenkonzentration auf als die gefütterten Tiere mit pH 7,328 $\pm$ 0,071. Mit 58,42 $\pm$ 12,755 mm Hg lag der pCO₂ des Blutes bei den nüchternen Ferkeln um ungefähr 9 mm Hg höher als bei den gefütterten Tieren.

Der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums erhöhte sich bei den gefütterten Mastkälbern auf 48,9 $\pm$ 6,35% gegenüber 44,4 $\pm$ 2,97% der nüchternen Tiere. In der Gruppe der gefütterten Ferkel lag der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums mit 43,9 $\pm$ 3,85% gegenüber 42,5 $\pm$ 3,58% der nüchternen Gruppe ebenfalls etwas höher. Bei den Ziegen war nach der Nahrungsaufnahme ein Rückgang des ionisierten Calciumanteils von 51,7 $\pm$ 4,69% auf 46,9 $\pm$ 2,10% zu verzeichnen.

4.5. BEGASUNG EINER BLUTPROBE MIT UNTERSCHIEDLICHEN KOHLENDIOXIDKONZENTRATIONEN UND DEREN AUSWIRKUNG AUF GESAMTCALCIUM, IONISIERTES CALCIUM UND PROZENTUALEN ANTEIL DES IONISIERTEN CALCIUMS

Da aus den bisher vorliegenden Ergebnissen keine eindeutigen Beziehungen zwischen pH und dem Ionisationsgrad des Calciums ersichtlich wurden, untersuchten wir den Effekt identischer Äquilibrierung der Blutproben verschiedener Tierspezies mit Gasgemischen, die einen Gehalt von 4,0 Vol%, 5,0 Vol% und 8,0 Vol% Kohlendioxid, Rest jeweils Sauerstoff, aufwiesen. Gemäß der Gleichung nach Henderson-Hasselbalch

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{\text{HCO}_3^-}{0,03 \cdot \text{pCO}_2}$$

besteht eine Gesetzmäßigkeit zwischen dem Kohlendioxidpartialdruck und der Wasserstoffionenkonzentration einer Blutprobe.

Wie aus den Tabellen 20 a-k und den Abbildungen 4 und 5 ersichtlich ist, verursachte die Begasung mit steigenden Kohlendioxidkonzentrationen bei allen Versuchen einen Anstieg der Wasserstoffionenkonzentration (Senkung des pH). An den in etwa gleichen Steigungen der pH/pCO₂-Linien in den Abb. 4 und 5 kann man erkennen, daß bei der Begasung einer Blutprobe mit Kohlendioxid der pCO₂ und pH bei den verschiedenen Tierspezies ein ähnliches Verhalten haben. Dabei existiert für jede Tierart eine eigene pH/pCO₂-Beziehung. Für einen pCO₂=40 mm Hg in der begasten Probe ergeben sich folgende pH-Werte (aus den Abb. 4 und 5) bei den einzelnen Spezies:

Milchkühe	7,40	Schafe	7,36
Mastkälber nüchtern	7,36	Ferkel nüchtern	7,31
Mastkälber gefüttert	7,42	Ferkel gefüttert	7,28
Ziegen nüchtern	7,37	Dalmatiner	7,27
Ziegen gefüttert	7,43	Masthähnchen	7,31

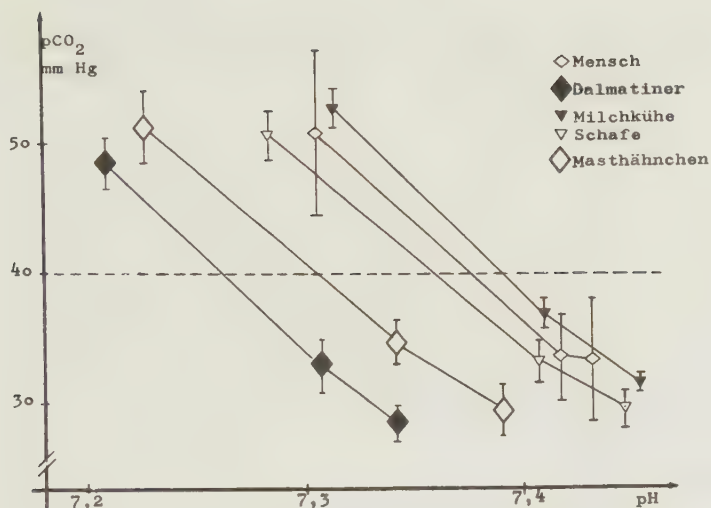


Abb. 4: Graphische Darstellung des Einflusses der Begasung auf die pH/pCO₂-Beziehung

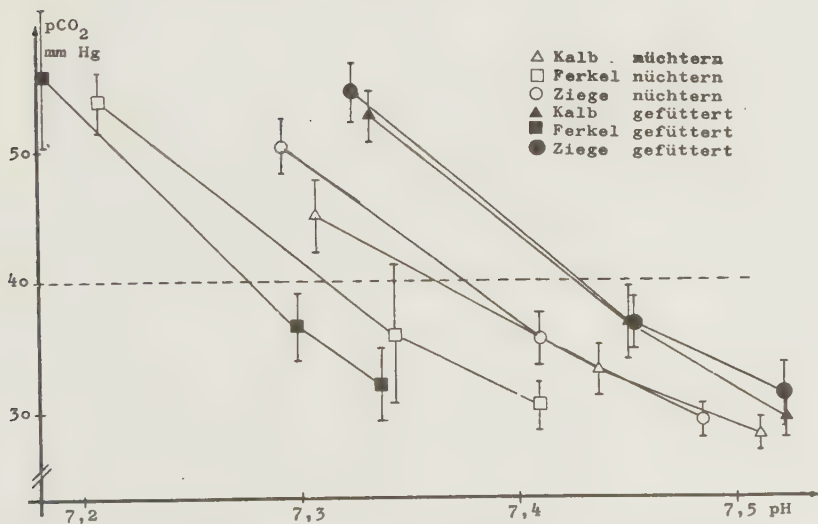


Abb. 5: Graphische Darstellung des Einflusses der Fütterung und der Begasung auf die pH/pCO₂-Beziehung

Tab. 20: Verhalten der aktuellen Meßwerte ($\bar{x} \pm SD$) im Vollblut bei verschiedenen Tierspezies unter dem Einfluß einer Begasung mit verschiedenen CO_2 -Konzentrationen

a) Mastkalb nüchtern (n = 11)

CO_2 -Gehalt	pCO_2 mmHg	pH	Ca_{Ges} mmol/l	Ca_{vb}^{++} mmol/l	% Ca^{++}
4% CO_2	27,27 1,274	7,510 0,050	2,21 0,125	0,94 0,073	42,7 2,28
5% CO_2	32,81 1,999	7,436 0,048	2,20 0,160	0,94 0,091	42,7 2,69
8% CO_2	45,39 3,895	7,307 0,054	2,10 0,100	0,99 0,083	47,5 4,16

b) Mastkalb gefüttert (n = 11)

4% CO_2	29,92 1,559	7,522 0,264	2,04 0,160	0,96 0,107	46,9 4,52
5% CO_2	36,11 2,772	7,450 0,028	2,18 0,297	1,05 0,109	49,5 7,09
8% CO_2	52,86 2,51	7,332 0,023	2,15 0,124	1,09 0,108	50,7 5,96

c) Milchkühe (n = 8)

4% CO_2	31,26 0,856	7,454 0,021	2,23 0,289	0,92 0,064	41,1 6,83
5% CO_2	37,05 1,247	7,410 0,024	2,23 0,285	0,94 0,078	41,4 3,72
8% CO_2	52,60 1,495	7,313 0,030	2,29 0,224	1,00 0,071	43,9 3,53

d) Schafe (n = 8)

4% CO_2	29,27 1,368	7,447 0,030	2,28 0,394	0,92 0,155	40,6 3,56
5% CO_2	33,24 1,668	7,407 0,028	2,33 0,303	0,92 0,163	40,7 6,09
8% CO_2	50,79 1,935	7,284 0,029	2,33 0,286	0,98 0,167	41,1 5,37

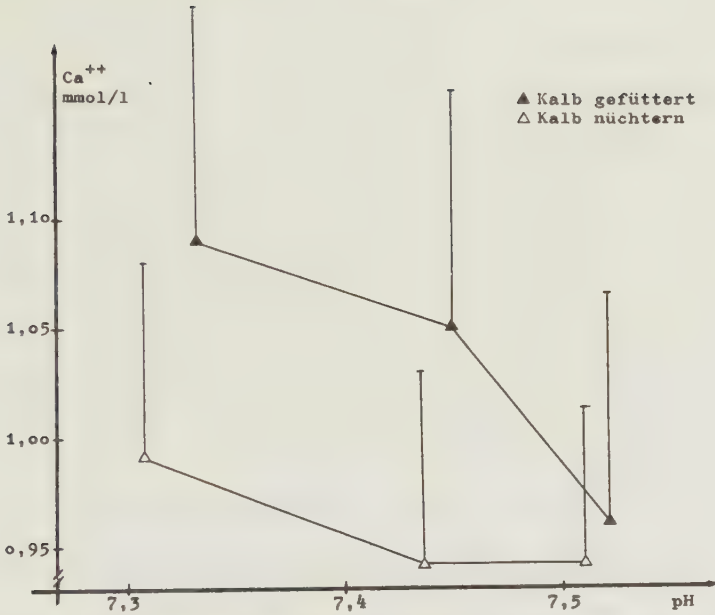


Abb. 6: Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Calciumionenkonzentration im Vollblut vom pH

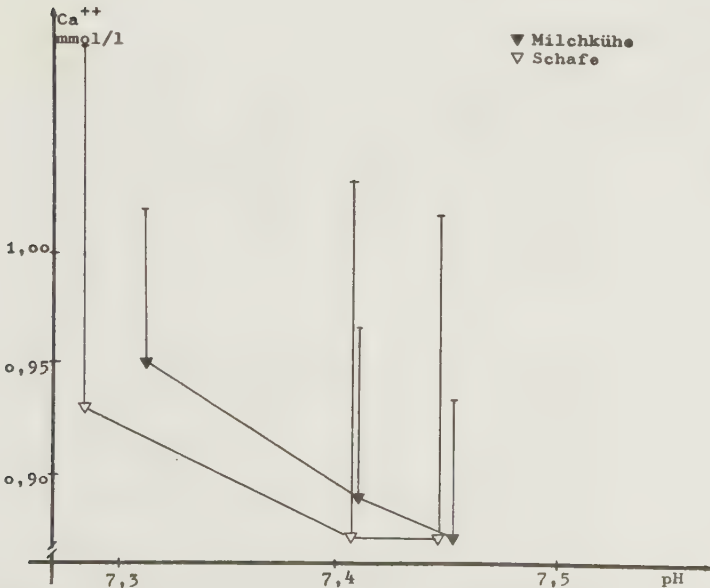


Abb. 7: Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Calciumionenkonzentration im Vollblut vom pH

Tab. 20, Fortsetzung

e) Ziegen nüchtern (n=9)

CO ₂ -Gehalt	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺
4% CO ₂	28,81 1,394	7,479 0,041	1,84 0,262	0,92 0,060	50,4 7,84
5% CO ₂	35,46 2,088	7,409 0,032	1,95 0,108	0,95 0,069	48,4 5,20
8% CO ₂	50,57 2,190	7,292 0,031	1,89 0,114	0,98 0,059	51,6 5,02

f) Ziegen gefüttert (n=9)

4% CO ₂	31,01 2,626	7,521 0,031	2,10 0,072	0,92 0,079	43,8 3,81
5% CO ₂	36,45 2,163	7,452 0,032	2,06 0,089	0,94 0,068	45,7 2,73
8% CO ₂	54,34 2,319	7,324 0,061	2,04 0,085	0,99 0,074	48,6 3,48

g) Ferkel nüchtern (n=10)

4% CO ₂	30,44 1,939	7,409 0,029	2,31 0,072	1,00 0,050	43,4 2,48
5% CO ₂	35,78 5,304	7,343 0,051	2,26 0,116	1,00 0,063	44,4 4,04
8% CO ₂	54,06 2,268	7,208 0,035	2,26 0,064	1,01 0,072	44,9 3,16

h) Ferkel gefüttert (n=10)

4% CO ₂	31,88 2,883	7,337 0,082	2,27 0,151	0,99 0,079	43,6 3,56
5% CO ₂	36,52 2,671	7,299 0,067	2,19 0,180	0,96 0,054	44,2 3,18
8% CO ₂	55,75 5,554	7,183 0,069	2,29 0,121	1,00 0,060	43,7 3,13

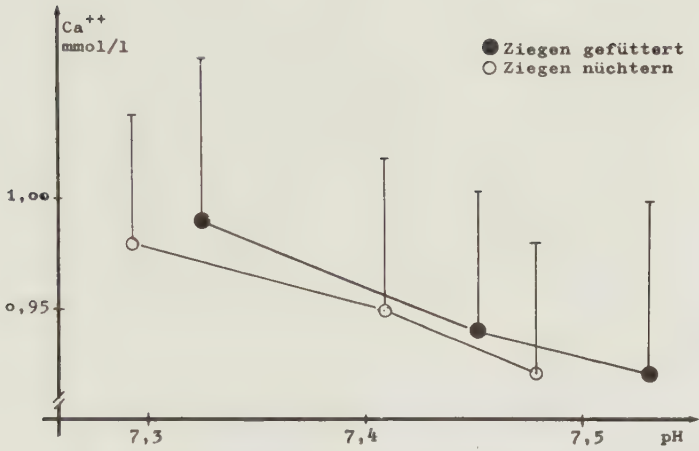


Abb. 8: Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Calciumionenkonzentration vom pH

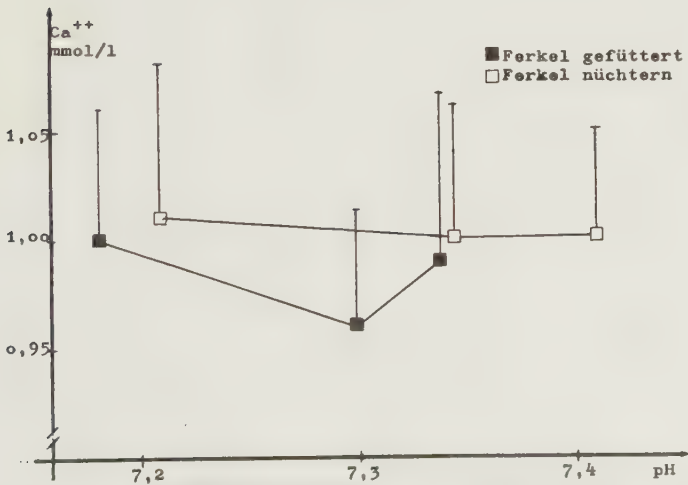


Abb. 9: Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Calciumionenkonzentration vom pH

Tab. 20, Fortsetzung

i) Dalmatiner (n=13)

CO ₂ -Gehalt	pCO ₂ mmHg	pH	Ca _{Ges} mmol/l	Ca _{Vb} ⁺⁺ mmol/l	%Ca ⁺⁺
4% CO ₂	28,35 1,327	7,342 0,041	2,42 0,114	0,99 0,067	40,7 3,12
5% CO ₂	32,93 2,094	7,307 0,035	2,45 0,157	0,99 0,069	40,8 4,74
8% CO ₂	48,38 2,077	7,210 0,034	2,45 0,113	1,03 0,081	42,1 4,23

k) Masthähnchen (n=8)

4% CO ₂	29,10 2,022	7,391 0,043	2,27 0,203	1,17 0,079	51,8 4,17
5% CO ₂	34,86 1,889	7,341 0,040	2,27 0,299	1,18 0,091	52,9 6,74
8% CO ₂	51,32 2,913	7,227 0,039	2,03 0,262	1,20 0,076	56,8 4,63

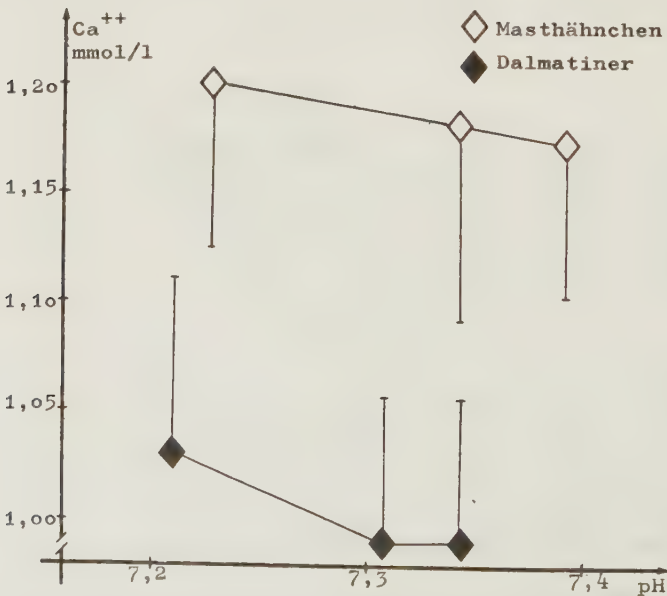


Abb.10: Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Calciumionenkonzentration vom pH

Die pH/pCO₂-Linien zwischen der gefütterten und der nüchternen Gruppe einer Tierart sind nicht identisch, sondern ebenfalls gegeneinander verschoben (Ferkel, Ziegen, Mastkälber). Kälber und Ziegen verhielten sich ähnlich: Nach der Fütterung wurden höhere pH/pCO₂-Wertepaare erhalten als in der nüchternen Gruppe (Tab. 20).

Zur Begasung stand Blut von Milchkühen, Mastkälbern, Ziegen, Schafen, Ferkeln, Hunden und Masthähnchen zur Verfügung. Der durchschnittliche Gesamtcalciumgehalt aller begasten Blutproben änderte sich durch die Verwendung unterschiedlicher Kohlendioxidkonzentrationen nicht. Zu einer Abnahme des Gesamtcalciumgehaltes durch die Erhöhung der CO₂-Konzentration des verwendeten Gasgemisches kam es bei nüchternen Mastkälbern und Ferkeln, gefütterten Ziegen und bei Masthähnchen. Eine Zunahme des Gesamtcalciums wurde bei gefütterten Mastkälbern, Schafen, Milchkühen und bei nüchternen Ziegen gemessen.

Der absolute Anteil des ionisierten Calciums nahm mit der Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration des verwendeten Gasgemisches zu. Bei den Rindern war in der Gruppe der gefütterten Mastkälber die Zunahme des ionisierten Calciums mit 0,13 mmol/l auf 1,09±0,108 mmol/l am höchsten, gefolgt von der Gruppe der Milchkühe mit +0,08 mmol/l auf 1,00±0,071 mmol/l und den nüchternen Mastkälbern mit +0,05 mmol/l auf 0,99±0,083 mmol/l bei 8,0 Vol% CO₂. Die Schafe verhielten sich ähnlich wie die nüchternen Mastkälber. Bei 4,0 Vol% und 5,0 Vol% CO₂ betrug die Calciumionenkonzentration 0,92 mmol/l und nahm auf 0,98±0,167 mmol/l in den mit 8,0 Vol% CO₂ begasten Blutproben zu. Im Blut der Ziegen wurde durch die Begasung eine Steigerung des ionisierten Calciums von 0,92 mmol/l bei 4,0 Vol% CO₂ auf 0,98±0,059 mmol/l (nüchtern) bzw. auf 0,99±0,074 mmol/l (gefüttert) bei 8,0 Vol% CO₂ erreicht.

Bei den Ferkeln wurden durch die Begasung die geringsten Unterschiede in der Calciumionenkonzentration hervorgeru-

fen. Lediglich in der Gruppe der gefütterten Ferkel lag der 5,0 Vol%-Wert mit $0,96 \pm 0,054$ mmol/l etwas unter den übrigen Werten. Die Zunahme des ionisierten Calciums betrug bei einer Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration im verwendeten Gasgemisch von 4,0 auf 8,0 Vol% 0,005 bzw. 0,006 mmol/l je 0,1 pH-Einheiten und war damit um den Faktor 5 kleiner als bei der Begasung des Blutes der übrigen Tiere (Tab. 20g + h).

In der Gruppe der Dalmatiner lag die Calciumionenkonzentration bei 8,0 Vol% CO_2 mit $1,03 \pm 0,081$ mmol/l um 0,04 mmol/l über dem entsprechenden 4,0 und 5,0 Vol%-Wert bei einer annähernd gleichbleibenden Gesamtcalciumkonzentration von 2,45 mmol/l. (Tab. 20i).

Bei Masthähnchen nahm das ionisierte Calcium mit Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration von $1,17 \pm 0,079$ mmol/l (4,0 Vol%) auf $1,20 \pm 0,076$ mmol/l (8,0 Vol%) zu. Gleichzeitig wurden mit $2,03 \pm 0,262$ mmol/l in der 8,0 Vol%-Probe um ca. 10% niedrigere Gesamtcalciumkonzentrationen gemessen als in den übrigen Proben mit 2,27 mmol/l (Tab. 20k).

Der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums nahm mit der Erhöhung des Kohlendioxidpartialdruckes durch die Begasung in den meisten Proben zu.

Die Beziehungen zwischen pH und den Calciumionenkonzentrationen wurden in den Abb. 6 bis 10 dargestellt. In der Regel führte die Erniedrigung des pH durch die Äquilibration mit steigenden Kohlendioxidkonzentrationen zu einer Erhöhung des ionisierten Calciumanteils. Abweichend hiervon verhielt sich die Gruppe der gefütterten Ferkel, bei der die Calciumionenkonzentration in der mit 5,0 Vol% CO_2 begasten Probe mit $0,96 \pm 0,054$ mmol/l niedriger als bei 4,0 Vol% CO_2 ($0,99 \pm 0,079$ mmol/l) war.

Bei einem pH von 7,4 ergaben sich folgende Calciumionenkonzentrationen im venösen Blut der verschiedenen Tierspezies (Werte aus den Abbildungen 6-10):

Milchkühe	0,94 mmol/l
Mastkalb nüchtern	0,95 mmol/l
Mastkalb gefüttert	1,07 mmol/l
Ziegen nüchtern	0,95 mmol/l
Ziegen gefüttert	0,96 mmol/l
Schafe	0,92 mmol/l
Ferkel nüchtern	1,00 mmol/l

5. DISKUSSION

Die wenigen Daten über den Anteil des ionisierten Calciums am Gesamtcalcium bei den verschiedenen Tierspezies in der Literatur sind wohl hauptsächlich auf methodische Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Calciumionenkonzentrationen zurückzuführen. So wurde bis zur Entwicklung brauchbarer ionenselektiver Elektroden versucht, das ionisierte Calcium mit biologischen, chemischen, physikalischen oder mathematischen Methoden zu bestimmen.

Für Humanblut stehen generell, jedoch sicherlich auch noch nicht ausreichend, Arbeiten über die Calciumionenkonzentrationen und ihre Änderungen unter verschiedenen Bedingungen in Vollblut, Plasma bzw. Serum zur Verfügung (SCHWARTZ et al. 1971, PEDERSEN 1971, HUSDAN et al. 1973, LADENSON und BOWERS 1973, PASCHEN 1975, ROBERTSON und MARSHALL 1979, BISWAS et al. 1981).

Auf dem Sektor der Tiermedizin befaßten sich bisher lediglich BELONJE (1973, 1976) beim Schaf, KVART und LARSSON (1978) und KVART et al. (1980) sowie BLUM et al. (1972) beim Rind mit der Bestimmung des ionisierten Anteils des Calciums im Plasma und Serum mittels ionenselektiver Elektroden. OLUOKUN et al. (1981) bestimmten das ionisierte Calcium beim Rind durch Ultrafiltration des Plasmas. Bei der Ratte wurde das ionisierte Calcium von MCCARRON et al. (1981) und WRIGHT et al. (1980) mittels ionenselektiver Elektroden gemessen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, "Normalwerte" für das ionisierte Calcium im Vollblut und im Plasma mehrerer Tierarten und die Auswirkungen verschiedener Einflüsse wie Kohlendioxidbegasung, Lagerung unter verschiedenen Bedingungen und Nahrungsaufnahme auf die Calciumionenkonzentration zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden Blutproben von Kälbern, Kühen, Ziegen, Schafen, Ferkeln, Hunden, Shetland-Ponys und Masthähnchen untersucht.

5.1. VERGLEICH DER ERGEBNISSE

Bei einem Vergleich der eigenen Ergebnisse mit den bisher bekannten Werten sind die Versuchsbedingungen, unter denen die Calciumionenkonzentrationen ermittelt wurden, zu berücksichtigen. Plasma hat zum Beispiel niedrigere Calciumionenkonzentrationen als Vollblut oder Serum, u.a. wegen der calciumionensenkenden Heparinwirkung (RAMAN 1969, ROBERTSON und MARSHALL 1979, BISWAS et al. 1981). Auf einen Gerinnungshemmer konnte jedoch nicht verzichtet werden, da auch Verlaufsuntersuchungen durchgeführt werden mußten, und das Heparin erschien für diesen Zweck am geeignetsten. KVART und LARSSON (1978) erhielten bei vergleichenden Messungen im Plasma von Rindern um $0,05 \text{ mmol/l}$ niedrigere Calciumionenkonzentrationen als im Serum. Auch BELONJE bestimmte 1976 den ionisierten Anteil des Calciums im Plasma und erhielt beim Schaf mit $1,06 \pm 0,12 \text{ mmol/l}$ niedrigere Werte als 1973 mit $1,14 \pm 0,11 \text{ mmol/l}$ im Serum. Die von uns durchgeführten Versuche ergaben im Plasma niedrigere Calciumionenkonzentrationen als im Vollblut.

Des weiteren ergeben sich Differenzen, die durch die Verwendung unterschiedlicher Meßgeräte verursacht werden. Zum Beispiel lieferte das Nachfolgegerät Orion SS-20 im Rinderserum bei Untersuchungen von KVART et al. (1980) um $0,08 \text{ mmol/l}$ niedrigere Werte als das Vorgängermodell Orion 99-20.

In einem Vergleich zwischen einem Orion SS-20-Gerät und einem AVL 980 Elektrolytanalyzer wurden von uns mit dem Orion SS-20 Calciumanalyzer um durchschnittlich $0,05 \pm 0,045 \text{ mmol/l}$ höhere Calciumionenkonzentrationen gemessen.

Schaf:

BELONJE (1976) hat im Plasma von laktierenden Schafen das ionisierte Calcium mit $41,29 \pm 4,44\%$ des Gesamtcalciums oder $1,06 \pm 0,12 \text{ mmol/l}$ bestimmt. 1973 ermittelte er im Serum kurzträchtiger Schafe den Gehalt an ionisiertem Calcium mit

46,95±4,36% des Gesamtcalciums oder 1,14±0,11 mmol/l. In der vorliegenden Arbeit wurde die Gesamtcalciumkonzentration im Plasma nichttragender Schafe mit 2,67±0,207 mmol/l bestimmt. Der Gesamtcalciumgehalt lag somit etwas über und das ionisierte Calcium mit 1,01±0,165 mmol/l (entspricht 38,4±3,82%) etwas unter den Werten von BELONJE (1973 und 1976).

Wenn man jedoch die Unterschiede in der Methode berücksichtigt (verschiedene Calciumanalyser), stimmen Gesamtcalcium im Plasma und ionisiertes Calcium im Vollblut sehr gut mit den Ergebnissen von BELONJE (1976) überein.

Rind:

Beim Rind wurde das ionisierte Calcium von BLUM et al. (1972), KVART und LARSSON (1978) und KVART et al. (1980) mittels ionenselektiver Elektroden bestimmt. BLUM et al. (1972) ermittelten für das ionisierte Calcium im Plasma von vier kalbenden Kühen Werte von 0,525-0,925 mmol/l. KVART und LARSSON (1978) fanden, daß bei einem Gesamtcalciumgehalt von 2,51±0,16 mmol/l im Serum 43,4±3,0% oder 1,08±0,07 mmol/l in der freien ionisierten Form vorlagen. Die Calciumionenkonzentration im Plasma war ihren Angaben zufolge im allgemeinen um 0,05 mmol/l niedriger als im Serum. 1980 bestimmten KVART et al. das ionisierte Calcium im Serum mit 1,16±0,049 mmol/l.

Die eigenen Messungen ergaben für Milchkühe im Plasma einen Gesamtcalciumgehalt von 2,45±0,109 mmol/l und im Vollblut 0,98±0,075 mmol/l (40,1±3,52%) ionisiertes Calcium. Die Kälber wiesen mit 2,25±0,078 bzw. 2,37±0,117 mmol/l einen niedrigeren Gesamtcalciumgehalt und mit 1,05±0,078 mmol/l (44,4±2,97%) bzw. 1,11±0,235 mmol/l (48,9±6,35%) einen höheren Anteil an ionisiertem Calcium auf.

Andere Tierarten:

Für Ferkel, Ziegen, Ponys, Hunde und Hühner wurden in der Literatur keine Angaben über mit Elektroden gemessene Calciumionenkonzentrationen gefunden. Die Werte für das ionisierte Calcium der von uns untersuchten Tierarten lagen mit $0,98 \pm 0,075$ bis $1,11 \pm 0,235$ mmol/l (Einzelwerte siehe Tab.16 a-f) innerhalb der Bereiche, die für den Menschen ermittelt wurden ($0,96 \pm 0,045$ bis $1,265 \pm 0,027$ mmol/l; MOORE 1970, HUSDAN et al. 1977, ROBERTSON 1969, ORESKES et al. 1968, RAMAN 1970, SCHWARTZ et al. 1970, FUCHS et al. 1972, ROBERTSON und MARSHALL 1979). Genauso fallen die Werte für den prozentualen Anteil des ionisierten Calciums am Gesamtcalcium mit $40,1 \pm 3,52\%$ bis $52,2 \pm 4,71\%$ in den Normbereich, der für Humanblut angegeben wird (39,6-60,1%, PASCHEN 1975).

Abweichend hiervon verhielten sich die Blutproben der Ponys, deren absoluter und prozentualer Calciumionengehalt ($1,36 \pm 0,084$ mmol/l, $61,4 \pm 1,91\%$) höher lag. Bei Schafen lag der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums mit $38,4 \pm 3,82\%$ geringfügig unter dem für das Humanblut angegebenen Bereich.

5.2. LAGERUNG VON KÄLBERBLUT UND PLASMA BEI 4°C BZW. BEI RAUMTEMPERATUR (28°C)

KELLER (1975) beobachtete bei der Lagerung von Vollblut bzw. Plasma bei 25°C eine geringe Erhöhung der Gesamtcalciumkonzentration. Die durchgeführten Untersuchungen ergaben für die Lagerung des Vollblutes bei Raumtemperatur eine geringe Erhöhung der Gesamtcalciumkonzentration und im Plasma nach anfänglicher Abnahme eine geringe Zunahme. In den gekühlten Proben nahm die Gesamtcalciumkonzentration sowohl im Plasma als auch im Vollblut ab.

In allen Proben (Plasma und Vollblut, bei 4°C und bei Raumtemperatur) war nach 24 Stunden ein Abfall des pH und eine Zunahme der Calciumionenkonzentration gemessen worden. Da-

bei lag der pH der Plasmaproben um rund 0,06 pH-Einheiten über demjenigen der Vollblutproben. Durch die Kühlung konnte die pH-Abnahme verzögert werden, in beiden Plasmaproben blieb er in den ersten 8 Stunden konstant, im gekühlten Vollblut stieg er leicht an. Nur im bei Raumtemperatur gelagerten Vollblut fiel der pH kontinuierlich ab. Die Abnahme der Calciumionenkonzentration im Plasma in den ersten 8 Stunden ging nach 24 Stunden in einen vermutlich pH-bedingten Anstieg über. Im auf 4°C gekühlten Plasma blieb die Calciumionenkonzentration 8 Stunden lang konstant und stieg erst nach einem pH-Abfall um 0,04 mmol/l nach 24 Stunden an.

ORESQUES et al. (1968) fanden im gekühlten Plasma bis zu 6 Stunden konstant bleibende Calciumionenkonzentrationen und danach eine signifikante Abnahme.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß es im gekühlten und ungekühlten Kälbervollblut und Plasma während der Lagerung zu einem Anstieg der Calciumionenkonzentration kommt. Im gekühlten Vollblut können nach 8 Stunden erhöhte Calciumionenkonzentrationen gemessen werden und im gekühlten Plasma nach 24 Stunden. Für eine Bestimmung des Gesamtcalciumgehaltes ist die Lagerung bei Raumtemperatur ausreichend. Die Blutgase und das ionisierte Calcium sollten jedoch innerhalb von 4 Stunden im bei 4°C gelagerten Vollblut bestimmt werden.

5.3. LAGERUNG HEPARINISierter VOLLBLUTPROBEN BEI 4°C

KVART und LARSSON (1978) ermittelten bei 5tägiger Lagerung von Rinderserum bei 4°C einen pH-Anstieg um durchschnittlich 0,13 pH-Einheiten und eine Abnahme des ionisierten Calciums um 5 %. Die gleichzeitige Aufbewahrung von Plasma und Serum unter gleichen Bedingungen ergab in beiden Fällen äquivalente Abnahmen des ionisierten Calciums.

POULSEN und SURYNEK (1977) verzeichneten in heparinisierten Rinderblutproben während der Lagerung bei 4°C eine ste-

tige pH-Abnahme. Die eigenen Lagerungsversuche über 24 Stunden mit dem Blut von Kälbern und Kühen führten nach anfangs geringen pH-Veränderungen nach 24 Stunden zu deutlichen pH-Abnahmen. Der Anteil des ionisierten Calciums zeigte dabei bei der Lagerung von Kälber- und von Milchkuhblut kein einheitliches Verhalten, es kam sowohl zu Zunahmen als auch zu Abnahmen der Konzentration des ionisierten Calciums.

Die Aufbewahrung des Blutes von Rindern, Schafen, Ziegen, Ferkeln, Ponys und Masthähnchen wirkte sich nicht in allen Fällen in der gleichen Weise aus. In der Regel führte die Lagerung der Vollblutproben bei 4°C zu einer Abnahme der Gesamtcalciumkonzentration im Plasma und des ionisierten Calciums im Vollblut. Bei Masthähnchen nahm die Gesamtcalciumkonzentration während der Aufbewahrung von $2,30 \pm 0,322$ mmol/l auf $2,47 \pm 0,207$ mmol/l zu, bei Milchkühen und gefütterten Ziegen erhöhte sich die Calciumionenkonzentration, und Ponys und gefütterte Mastkälber wiesen nach 24 Stunden sowohl höhere Gesamtcalcium- als auch höhere Calciumionenkonzentrationen auf.

In der Mehrzahl der Versuche kam es zu einer Zunahme des prozentualen Anteils des ionisierten Calciums der gelagerten Vollblutproben. Bei gefütterten Mastkälbern konnte eine geringe und bei Shetland-Ponys eine stärkere Abnahme des prozentualen Anteils des ionisierten Calciums am Gesamtcalcium errechnet werden.

Der durchschnittliche pH-Wert des gelagerten Vollblutes nahm in allen Versuchsreihen innerhalb 24 Stunden ab. Der pCO_2 -Anstieg verlangsamte sich nach den ersten 8 Stunden. In den Proben von Milchkühen und gefütterten Ziegen erreichte der pCO_2 nach 24 Stunden niedrigere Werte als in den zu Beginn untersuchten Proben.

Die Abnahme des pH und die Zunahme des pCO_2 im gelagerten venösen Blut entspricht den Ergebnissen, wie sie POULSEN und SURYNEK (1977), ASSAL et al. (1978, 1978, 1980, 1980) und van der WAL et al. (1981) bei der Untersuchung der Auswir-

kungen der Lagerungsdauer auf die Säure-Basen-Parameter im venösen Blut verschiedener Tierarten gefunden haben.

Annähernd lineare Beziehungen zwischen pH und Calciumionenkonzentration wurden für die gelagerten Blutproben der Schafe, Masthähnchen, der Dalmatiner und der Gruppe der gefütterten Ferkel gefunden. Beidiesen Tieren nahmen der pH und die Calciumionenkonzentration mit zunehmender Lagerungsdauer ab.

Für die gelagerten Blutproben war neben einer Zunahme der Wasserstoffionenkonzentration eine Erhöhung des ionisierten Anteils des Calciums erwartet worden. In Wirklichkeit kam es in der Mehrzahl der Versuche zu einer geringen Abnahme an ionisiertem Calcium. Diese Diskrepanz kann folgende Ursachen haben:

- Da durch die Kühlung der Blutproben der Stoffwechsel der Leukozyten und der Retikulozyten nicht vollkommen unterbrochen werden kann, kommt es zur Bildung von Laktat und Pyruvat. Diese Stoffwechselprodukte können mit Calciumionen Verbindungen eingehen und damit die Fraktion des ultrafiltrierbaren gebundenen Calciums erhöhen.
- In den meisten Versuchen nahm der Gesamtcalciumgehalt während der Lagerung ab. Zur Beurteilung des Verhaltens des ionisierten Calciums muß daher der prozentuale Anteil des ionisierten Calciums herangezogen werden, der jedoch ebenfalls nicht aussagekräftig genug ist.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß es lediglich für den Kohlendioxidpartialdruck und die Wasserstoffionenkonzentration eine lagerungszeitabhängige Zunahme gibt. Die Kühlung und Aufbewahrung von heparinisierten Vollblutproben bei 4°C kann pH-Veränderungen bis zu 8 Stunden weitgehend verhindern und bildet daher eine Möglichkeit, Proben für blutgasanalytische Bestimmungen bis zur Untersuchung zu konservieren.

Die Gesamtcalciumkonzentration nahm in der Mehrzahl der Versuche ab, es ergaben sich aber schon Differenzen innerhalb einer Tierart. Auch aus dem Verhalten des ionisierten Calciums und des prozentualen Anteils des ionisierten Calciums am Gesamtcalcium während der Lagerung lassen sich keine allgemeingültigen Schlüsse ziehen.

Deshalb sollten Bestimmungen des Gesamtcalciumgehaltes und der Konzentration des ionisierten Calciums möglichst rasch nach der Probengewinnung durchgeführt werden. Um zwischenzeitliche Änderungen der Wasserstoffionenkonzentration, die auf den ionisierten Anteil des Calciums Einfluß nehmen könnten, zu verhindern, empfiehlt es sich, die Vollblutproben im Kühlschrank bei 4°C aufzubewahren.

5.4. EINFLUSS DER NAHRUNGAUFNAHME AUF DAS GESAMTCALCIUM UND DAS IONISIERTE CALCIUM IM VENÖSEN BLUT BEI MASTKÄLBERN, ZWERGZIEGEN UND FERKELN

Ferkel und Mastkälber hatten nach der Nahrungsaufnahme höhere Calciumionenkonzentrationen im Vollblut als bei der Blutentnahme vor der Fütterung. Bei den Ziegen traten keine Unterschiede bezüglich der Calciumionenkonzentration in den beiden Versuchsreihen auf, die Calciumionenkonzentration blieb mit $1,03 \pm 0,060$ mmol/l konstant bei höherer Gesamtcalciumkonzentration und höherem pH-Wert in der gefütterten Gruppe. Gefütterte Ferkel wiesen bei einem höheren Gesamtcalciumspiegel und niedrigerem pH im Vergleich zu den nüchternen Tieren mit $1,08 \pm 0,059$ mmol/l absolut und prozentual mehr Calcium in der freien ionisierten Form auf. Dies dürfte jedoch nicht allein auf die höhere Gesamtcalciumkonzentration zurückzuführen sein, da gefütterte Kälber bei um 0,05 mmol/l weniger Gesamtcalcium mehr ionisiertes Calcium aufwiesen als die nüchterne Gruppe.

Humanmedizinische Untersuchungen erbrachten ebenfalls keine Klarheit über den Einfluß der Nahrungsaufnahme auf den Gehalt an ionisiertem Calcium im Blut. So fanden LADENSON

und BOWERS (1973) nach der Nahrungsaufnahme beim Menschen im Serum höhere Calciumionenkonzentrationen. Dagegen berichteten SEAMONDS et al. (1975) über niedrigere Werte für das ionisierte Calcium nach der Nahrungsaufnahme.

Der unterschiedliche Effekt der Nahrungsaufnahme könnte mit der Verdauungsphysiologie der untersuchten Tiere zusammenhängen. Bei Ferkeln und Milchmastkälbern passiert die aufgenommene Nahrung den Magen-Darm-Trakt relativ rasch. Die adulten Ziegen geben auch nach 12stündigem Futterentzug noch Vormageninhalt an die nachfolgenden Darmabschnitte ab. Dies könnte den durch die Fütterung hervorgerufenen Calciumionenanstieg bei Ferkeln und Kälbern und die Konstanz der Calciumionenkonzentration bei den adulten Ziegen erklären.

5.5. EINFLUSS DER BEGASUNG

Die Begasung mit unterschiedlichen Kohlendioxidkonzentrationen (4,0, 5,0, 8,0 Vol% CO_2) erwies sich als praktikables Verfahren, den pH-Wert der Blutprobe ohne Beeinträchtigung des Blutes durch Verdünnung, Hämokonzentration, Hämolyse oder Präzipitatbildung zu variieren. Die Beziehungen zwischen pH und pCO_2 in den tonometrierten Proben wurden in den Abb. 4 und 5 dargestellt; der pH nahm bei allen untersuchten Tierspezies mit der Erhöhung des pCO_2 in der gleichen Weise ab. Dabei ergaben sich für Kälber, Milchkühe, Schafe, Ziege und Menschen im volloxygenierten Blut für einen $\text{pCO}_2 = 40$ mm Hg pH-Werte um 7,4.

SCHWARTZ et al. (1971) änderten den pH durch Äquilibrierung mit einem 10%igen CO_2 -Gasgemisch und kontinuierlicher pH-Messung. PASCHEN (1975) änderte den pH zwischen 7 und 8 durch Zugabe von Salzsäure. Er fand für die Abhängigkeit des ionisierten Calciums vom pH leicht S-förmige Kurven und bei SCHWARTZ et al. (1971) nahm der Logarithmus der Calciumionenkonzentration bei steigenden pH kontinuierlich ab.

In den durchgeführten Versuchen konnte durch die Senkung des pH die Calciumionenkonzentration bei Dalmatinern, Masthähnchen, Milchkühen, Ziegen, gefütterten Ferkeln und nuchternen Mastkälbern annähernd linear erhöht werden (s. Abb. 5-9). Um das Bestehen einer linearen oder sigmoiden Beziehung zwischen pH und Calciumionenkonzentration weiter zu erhärten, müßten für die Begasung mehrere Kohlendioxidkonzentrationen mit kleineren Konzentrationsdifferenzen verwendet werden (z.B. 2; 3;9; 10,0 Vol% CO₂, Rest O₂), um einen noch stärkeren Abfall bzw. Anstieg des pH-Wertes zu erreichen.

Durch einen steigenden Kohlendioxidpartialdruck konnte in allen Versuchen der prozentuale Calciumionenanteil am Gesamtcalcium erhöht werden. Die prozentuale Zunahme des ionisierten Calciumanteils betrug dabei zwischen 0,1 bis zu 5%-Punkte bei einer Erhöhung der CO₂-Konzentration im verwendeten Gasgemisch von 4,0 auf 8,0 Vol%.

5.6. IONISIERTES CALCIUM IM VOLLBLUT UND IM PLASMA

In den meisten Fällen wurden im heparinisierten Vollblut höhere Calciumionenkonzentrationen gemessen als im Plasma nach Abtrennung der korpuskulären Bestandteile. Auch bei der Lagerung von Blut und Plasma unter gleichen Bedingungen im Kühlschrank bzw. bei Raumtemperatur wiesen die Vollblutproben höhere Calciumionenkonzentrationen auf. Gleichzeitig wurden im Plasma um 0,06 bis 0,07 pH-Einheiten höhere pH-Werte gemessen (Kälberblut), obwohl das Plasma anaerob gewonnen wurde. Neben dem Suspensionseffekt der Erythrozyten an der pH-Referenzelektrodenmembran dürfte dafür der Kohlendioxidverlust beim Zentrifugieren (Lösung von CO₂ im Paraffin bzw. Übertritt von CO₂ in die Gasphase) verantwortlich sein. Durch den höheren pH-Wert im Plasma können vermehrt freie Calciumionen durch Proteine gebunden werden, was sich in einer Abnahme der Calciumionenkonzentration im Plasma äußert. Die Bestimmung des ionisierten Calciums im heparinisierten Vollblut sollte deshalb der Bestimmung im Plasma vorgezogen werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Im heparinisierten Vollblut und im Plasma von Milchkühen, Kälbern, Schafen, Ziegen, Ferkeln, Hunden, Ponys und Masthähnchen wurden die Parameter Gesamtcalcium, ionisiertes Calcium, pH und Kohlendioxidpartialdruck gemessen. Es wurden die Effekte der Probenlagerung bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur (4° und 28°C), der Nahrungsaufnahme (ohne Berücksichtigung der Nahrungszusammensetzung) und eines veränderten Säure-Basen-Status in der Blutprobe auf die Meßparameter untersucht.

Es wurden Vergleichsmessungen der einzelnen Parameter durch den Einsatz verschiedener Methoden und Analyser vorgenommen. Die Messung des Gesamtcalciumgehaltes erfolgte mittels Atomabsorption oder EGTA-Titration, die des ionisierten Calciums mittels ionenselektiver Elektroden und die des pH sowie des $p\text{CO}_2$ potentiometrisch. Die erhaltenen Ergebnisse wurden miteinander verglichen.

Der Gesamtcalciumgehalt des Plasmas und die Konzentration des ionisierten Calciums im Vollblut waren bei den untersuchten Tierspezies wie folgt ($\bar{X} \pm \text{SD mmol/l}$):

Spezies	Ca_{Ges}		Ca^{++}	
MILCHKÜHE	2,45	$\pm 0,109$	0,98	$\pm 0,075$
AUFZUCHTKÄLBER	2,25	0,078	1,08	0,107
MASTKÄLBER nüchtern	2,37	0,117	1,05	0,078
MASTKÄLBER gefüttert	2,32	0,121	1,11	0,235
ZIEGEN nüchtern	2,00	0,185	1,03	0,058
ZIEGEN gefüttert	2,20	0,011	1,03	0,060
SCHAFE	2,67	0,207	1,01	0,165
BEAGLE	2,54	0,089	0,98	0,066
DALMATINER	2,50	0,090	1,03	0,061
FERKEL nüchtern	2,40	0,143	1,02	0,055
FERKEL gefüttert	2,47	0,149	1,08	0,059
SHETLAND PONYS	2,21	0,107	1,36	0,084
MASTHÄHNCHEN	2,30	0,322	1,27	0,084

Bei der Lagerung der Proben bei einer Umgebungstemperatur von 28°C kommt es zu nicht vorhersehbaren Veränderungen der Meßparameter.

Eine 24stündige Lagerung der Proben bei 4°C führt zu einer Abnahme des Gesamtcalciumgehaltes im Plasma bei nur geringfügiger Änderung des ionisierten Calciums.

Zur Optimierung und Standardisierung der Meßbedingungen sollte eine Lagerungstemperatur von 4°C gewählt werden und die Analyse innerhalb von 8 Stunden erfolgen.

Bei der Nahrungsaufnahme kommt es zu einer unterschiedlichen Beeinflussung der einzelnen Meßparameter. Es können sowohl Anstiege als auch Abnahmen bei den verschiedenen Meßgrößen registriert werden. Zeit der Nahrungsaufnahme und Zusammensetzung der Nahrung sind unbedingt zu berücksichtigen.

Zwischen dem pH der Probe und dem Anteil des ionisierten Calciums bestand bei allen untersuchten Tierspezies eine inverse lineare Korrelation im physiologischen Bereich. Bei einer Zunahme der Wasserstoffionenkonzentration kommt es im Blut zu einem entsprechenden Anstieg der Konzentration des ionisierten Calciums.

S U M M A R Y

The Degree of Calcium Ionization in the Blood of Various Species of Animals: Its Change During Storage Under Various Conditions, Carbon Dioxide Partial Pressure, Hydrogen Ion Concentration, and Feed Intake.

The factors total calcium, ionized calcium, pH, and $p\text{CO}_2$ were measured in heparinized whole blood and in plasma from dairy cows, calves, sheep, goats, piglets, dogs, ponies and broilers. Investigated were the effects on sample storage of various temperatures (4° and 28°C), feed intake (without consideration of the feed make-up), and altered acid-base balance of the blood probes. Comparative measurements of the individual parameters with various methods and analyzers were undertaken. Total calcium was determined by atomic absorption or EGTA titration, ionized calcium by ion sensitive electrodes, and pH and $p\text{CO}_2$ potentiometrically. The results were compared with one another.

The total calcium content of plasma and the ionized calcium concentration in whole blood of the investigated species are as follows ($\bar{x} \pm \text{SD}$ mmol/l).

S p e c i e s	Ca_{tot}	$\pm \text{SD}$	Ca^{++}	$\pm \text{SD}$
Dairy Cow	2.45	0.109	0.98	0.075
Dairy Calf	2.25	0.078	1.08	0.107
Veal Calf (fasting)	2.37	0.117	1.05	0.078
Veal Calf (non-fasting)	2.32	0.121	1.11	0.235
Goat (fasting)	2.00	0.185	1.03	0.058
Goat (non-fasting)	2.20	0.011	1.03	0.060
Sheep	2.67	0.207	1.01	0.165
Beagle	2.54	0.089	0.98	0.066
Dalmation	2.50	0.090	1.03	0.061
Piglet (fasting)	2.40	0.143	1.02	0.055
Piglet (non-fasting)	2.47	0.149	1.08	0.059
Shetland Pony	2.21	0.107	1.36	0.084
Broiler	2.30	0.322	1.27	0.084

There is an unpredictable change in the various parameters by sample storage at a temperature of 28°C.

At 4°C, a 24 hr storage of the sample leads to a decrease in the total calcium in the plasma with only a small change in ionized calcium.

For optimal and standardized conditions for determinations, the samples should be stored at 4°C and an analysis done within 8 hrs.

Feed intake leads to variable changes in the individual parameters. An increase as well as a decrease in the various measurements could be registered. The feeding time and feed make-up must be taken into consideration.

There is an inverse linear correlation in the normal range between the sample pH and the proportion of ionized calcium in all the species investigated. An increase in the hydrogen ion concentration leads to a corresponding rise in the ionized calcium concentration.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. ADROGUE, H.J., N.E. MADIAS:
Changes in plasma potassium concentration during acute acid-base disturbances.
Am. J. Medicine 71, 456-467 (1981)
2. AGUS, Z.S., A. WASSERSTEIN, S. GOLDFARB:
Disorders of calcium and magnesium homeostasis.
Am. J. Medicine 72, 473-489 (1982)
3. ANKER, P., E. WIELAND, D. AMMAN, R.E. DOHNER, R. ASPER, W. SIMON:
Neutral carrier based ion-selective electrode for the determination of total calcium in blood serum.
Anal. Chem. 53, 1970-1974 (1981)
4. ASSAL, A.N., J. ARNBJERG, J.S.D. POULSEN:
Acid-base status of canine blood during storage.
Nord.Vet.Med. 30, 345-353 (1978)
5. ASSAL, A.N., J. CHRISTIANSEN, J.S.D. POULSEN:
Acid-base status of porcine blood during storage.
Nord.Vet.Med. 32, 9-16 (1980)
6. ASSAL, A.N., R. JESPER, J.S.D. POULSEN:
Acid-base status of mink blood during storage.
Nord.Vet.Med. 32, 1-8 (1980)
7. ASSAL, A.N., J.S.D. POULSEN:
Acid-base status of equine blood during storage.
Nord.Vet.Med. 30, 354-363 (1978)
8. AYACHI, S.:
Increased dietary calcium lowers blood pressure in the spontaneously hypertensive rat.
Metabolism 28, 1234-1238 (1979)
9. BACON, W.L.:
Changes in plasma calcium, phosphorus, lipids and oestrogens in turkey hens with reproductive state.
Poultry Science 59, 444-452 (1980)
10. BAER, D.M., R.B. KRAUSE:
Am. J. Clin. Pathol. 50, 111-119 (1968)
11. BÄR, H.J., H. SEIDEL, J. MÜLLER:
Mineralstoffkonzentrationen im Serum klinisch gesunder Kälber.
Arch.exper.Vet.Med. 24, 889-892 (1970)

12. BARAKAT, M.Z., R.R. HASSANEIN:
Biochemical analysis and seasonal variation of certain cow blood constituents.
Zbl.Vet.Med. A 16, 220-228 (1969)
13. BARBER, D.M., D.L. DOXEY, W. MACLENNAN:
Biochemical studies on the "collapse syndrome" in suckled calves.
Vet.Rec. 97, 424-428 (1975)
14. BAUMGARTNER, W., G. SCHLERKA, W. PETSCHENING:
Untersuchungen über die Blutgase, den Säure-Basen-Haushalt, Elektrolytgehalt, einige Enzyme und Inhaltsstoffe im Blut neugeborener Kälber.
II. Elektrolytgehalte, Enzymaktivitäten und Gehalt an Gesamtbilirubin.
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 87, 18-20 (1980)
15. BELONJE, P.C.:
Serum ionized calcium in the sheep: Relation to total plasma calcium, blood pH, total plasma proteins and plasma magnesium.
J.S.Afr.Vet.Ass. 44, 375-378 (1973)
16. BELONJE, P.C.:
Normal values for ionized calcium in the plasma of normal lactating ewes and suckling lambs: Relation to plasma total calcium, inorganic phosphate, magnesium and total proteins.
S.Afr.J.Anim.Sci. 6, 7-10 (1976)
17. BESARAB, A., A. DEGUZMAN, J.W. SWANSON:
Effect of albumin and free calcium concentrations on calcium binding in vitro.
J. Clin. Pathol. 34, 1361-1368 (1981)
18. BICKHARDT, K. A. WIRTZ:
Der Einfluß von Anbindestreß und Fütterung auf Blutmeßwerte des Schweines.
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 85, 457-462 (1978)
19. BISWAS, C.K., J.M. RAMOS, B. AGROYANNIS, D.N.S. KERR:
Blood gas analysis: Effect of air bubbles in syringe and delay in estimation.
Br. Med.J. 284, 923-927 (1982)
20. BISWAS, C.K., J.M. RAMOS, D.N.S. KERR:
Heparin effect on ionized calcium concentration.
Clin.Chim.Acta 116, 343-347 (1981)
21. BLUM, J.W., C.F. RAMBERG, K.G. JOHNSON, D.S. KRONFELD:
Calcium (ionized and total), magnesium, phosphorus and glucose in plasma from parturient cows.
Am. J. Vet.Res. 33, 51-56 (1972)

22. BOEHNCKE, E., J. GROPP, M. WANDL:
Zur renalen Elektrolytausscheidung wachsender Mastkälber.
2. Mitteilung: Renale Calcium- und Magnesiumausscheidung.
Zbl.Vet.Med. A 23, 717-726 (1976)
23. BOSTEDT, H.:
Beitrag zum Problem des Festliegens bei Schafen in der
Zeit um die Geburt.
Berl.Münch. Tierärztl. Wschr. 89, 156-161 (1976)
24. BOSTEDT, H., C. HAUSMANN:
Einfluß von fortgeschrittener Gravidität, Geburt und frü-
her Laktationsperiode auf Elektrolytkonzentrationen im
Blutserum von Schafen unter besonderer Berücksichtigung
des Festliegens ante partum.
Prakt. Tierarzt 61, 482-489 (1980)
25. PROBST, D.:
Evaluation of clinical disorders of acid-base balance.
JAVMA 166, 359-364 (1975)
26. BÜNGER, U., M. STEINHARDT, G. RIEM, L. LYHS:
Änderungen des Milchsäuregehaltes und des Säure-Basen-
Status im Blut von Schweinen bei standardisierter sub-
maximaler Laufbelastung.
Sekt. Tierproduktion u. Vet.Med. d. Humboldt Universität
Berlin (1974)
27. BUTLER, D.G., R.A. WILLOUGHBY, B.J. SHERRY:
Studies on diarrhea in neonatal calves:
III: Acid-base and serum electrolyte values in normal
calves from birth to ten days of age.
Can. J. Comp.Med. 35, 36-39 (1971)
28. CHAN, J.C.M.:
The influence of dietary intake on endogenous acid pro-
duction.
Nutr.Metabol. 16, 1-9 (1974)
29. CHAN, J.C.M.:
Nutrition and acid-base metabolism.
Fed. Proc. 40, 2423-2428 (1981)
30. CHAN, J.C.M., K.O. ASH, W. HENTSCHEL, J. WU:
Effects of bilirubin on ionized calcium.
Clin.Chem. 27, 204-205 (1981)
31. CRABO, B., N.E. BJØRKLUND, A. SIMONSSON:
Hematological and blood chemical data in pigs fed on
fine, medium and coarse ground dry grain.
Acta vet. scand. 14, 263-271 (1973)
32. DÖRNER, K.:
Flourimetrische Calciumbestimmung durch EGTA-Titration.
Ärztl. Laboratorium 21, 48-55 (1975)

33. L'ESTRANGE, J.L., T. McNAMARA:
Effects of dietary hydrochloric acid on voluntary food intake and metabolism of sheep in relation to the use of mineral acids as silage additives.
Br. J. Nutr. 34, 221-231 (1975)
34. L'ESTRANGE, J.L., F. MURPHY:
Effects of dietary mineral acids on voluntary food intake, digestion, mineral metabolism and acid-base balance of sheep.
Br. J. Nutr. 28, 1-17 (1972)
35. FISCHER, W., R. BUTTE:
Vergleichende Untersuchungen des Elektrolyt- und Blutstatus bei gesunden und an Enteritis erkrankten Kälbern. 1. Mitteilung.
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 81, 567-570 (1974)
36. FLEISHER, M., M.K. SCHWARTZ:
Use of evacuated collection tubes for routine determination of arterial blood gases and pH.
Clin. Chem. 17, 610-613 (1971)
37. FOGH-ANDERSEN, N.:
Albumin/calcium association at different pH, as determined by potentiometry.
Clin. Chem. 23, 2122-2126 (1977)
38. FRAUNE, T.:
Untersuchungen über die Verträglichkeit und Wirkung von Äquifusol und Ringer-Laktat-Lösung zur Elektrolyttherapie beim Rind.
Vet. Med. Diss. Hannover (1973)
39. FRIZEL, D.E., A.G. MULLESON, V. MARKS:
Measurement of plasma ionized calcium and magnesium by ion exchange strip.
Clin. Chim. Acta 16, 45-56 (1967)
40. FUCHS, C., Ch. McINTOSH:
New techniques for ion-selective measurement of Ca^{++} in serum after pH-adjustment of aerobically handled sera.
Clin. Chem. 23, 610-611 (1977)
41. FUCHS, C., K. PASCHEN, P.G. SIECKERMANN, C.v. WESTBERG:
Bestimmung des ionisierten Calciums im Serum mit einer ionenselektiven Durchflußelektrode: Methodik und Normalwerte.
Klin. Wochenschrift 50, 824-832 (1972)
42. GALL, Ch.:
Ziegenzucht.
Verlag Ulmer Stuttgart (1982)

43. GAMBINO, S.R.:
Heparinized vacuum tubes for determination of plasma pH,
plasma CO₂ content and oxygen saturation.
Am. J. Clin. Pathol. 32, 285-293 (1959)
44. GINGERICH, P.A., P.W. MURDICK:
Paradoxic acidurea in bovine metabolic acidosis.
JAVMA 166, 227-230 (1975)
45. GIRNDT, J., H.V. HENNING, G. DELLING:
Correlation of calcium and acid-base metabolism.
Horm. Metab. Res. 11, 587-588 (1979)
46. GIRNDT, J., H.V. HENNING, C. FUCHS:
Hyperparathyreoidismus und metabolische Acidose.
Deutsche Med. Wochenschrift 104, 285-287 (1979)
47. GOHARY, S.G.:
Der Einfluß des Blutentnahmestresses auf einige Blut-
meßwerte beim Schaf.
Vet. Med. Diss., Hannover (1978)
48. GREEN, U.:
Untersuchungen über den Elektrolythaushalt bei klinisch
kranken Kühen.
Vet. Med. Diss., Hannover (1975)
49. HACKET, P.L., D.W. GAYLOR, L.K. BUSTAND:
Blood constituents in Suffolk ewes and lambs.
Am. J. Vet. Res. 18, 338-341 (1957)
50. HAFEZ, A.M.:
Untersuchungen zum Verhalten einiger Elektrolyte im Pan-
sensaft, Blutserum und Harn sowie des roten und weißen
Blutbildes bei gesunden und enteritiskranken Rindern im
Hinblick auf therapeutische Schlußfolgerungen.
Vet. Med. Diss., Hannover (1979)
51. HASKINS, S.C.:
Sampling and storage of blood for pH and blood gas ana-
lysis.
JAVMA 170, 429-433 (1977)
52. HATTNER, R.S., J.W. JOHNSON, D.S. BERNSTEIN, A. WACHMAN,
J. BRACKMAN:
Electrochemical determination of apparent ionized serum
calcium using a calcium-selective electrode: the method
and values in normal humans and comparison to total se-
rum calcium.
Clin. Chim. Acta 28, 67-75 (1970)
53. HEALEY, P.J., R.H. FALK:
Values of some biochemical constituents in the serum of
clinically normal sheep.
Aust. Vet. J. 50, 302-305 (1974)

54. HIRSCH, P.F., J.R. HAGAMAN:
Feeding regimen, dietary calcium and the diurnal rhythm of serum calcium and calcitonin in the rat.
Endocrinology 110, 961-969 (1982)
55. HOMEIER, K.H.:
Veränderungen des Elektrolyt- und Säure-Basen-Haushaltes und ihre Auswirkungen auf EKG und PKG bei urämischen Hunden.
Vet. Med. Diss., Hannover (1977)
56. HULTER, H.N., R.D. TOTO, E.L. BRONNER, L.P. ILNICKI, A. SEBASTIAN:
Renal and systemic acid-base effects of chronic hyperparathyroidism in dogs.
Am. J. Physiol. 241, F 495-F 501 (1981)
57. HUSDAN, H., M. LEUNG, D. OREOPOULUS, A. RAPAPORT:
Measurement of serum and plasma ionic calcium with the "Space Stat 20 Ionized Calcium Analyzer".
Clin.Chem. 23, 1775-1777 (1977)
58. HUSDAN, H., A. RAPAPORT, S. LOCKE:
Influence of posture on the serum concentration of calcium.
Metabolism 22, 787-797 (1973)
59. HUSDAN, H., A. RAPAPORT, S. LOCKE, D. OREOPOULUS:
Effect of venous occlusion of the arm on the concentration of calcium in serum, and methods for its compensation.
Clin.Chem. 20, 529-532 (1974)
60. JÖNSSON, G., B. PEHRSON, K. LUNDSTRÖM, L.E. EDQVIST, J.W. BLUM:
Studies on the effect of the amount of calcium in the prepartum diet on blood levels of calcium, magnesium, inorganic phosphorus, parathyroid hormone and hydroxyproline in milk fever prone cows.
Zbl.Vet.Med. A 27, 173-185 (1980)
61. KAUFMAN, R.A., N.W. TIETZ:
Ion effects on measurement of ionized calcium with a calcium selective electrode.
Clin.Chem. 26, 640-644 (1980)
62. KELLER, H.:
Lagerungsbedingte Fehler bei der Bestimmung von 11 Parametern im heparinisierten Vollblut und Plasma.
Z.Klin.Chem. Biochem. 13, 217-224 (1978)
63. KITCHENHAM, B.A., G.J. ROWLANDS, R. MANSTON, S.M. DEW:
The blood composition of dairy calves reared under conventional and rapid growth systems.
Br.Vet.J. 131, 436-445 (1975)

64. KLINGSTRÖM, B., K. IWARSSON, K. MARTINSSON:
Acid-base measurements of arterial, venous and capillary blood in the dog.
Nord. Vet. Med. 28, 289-294 (1976)
65. KOTERBA, A., G.P. CARLSON:
Acid-base and electrolyte alterations in horses with exertional rhabdomyolysis.
JAVMA 180, 603-606 (1982)
66. KVART, C., L. LARSSON:
Studies on ionized calcium in serum and plasma from normal cows.
Acta vet. scand. 19, 487-496 (1978)
67. KVART, C., L. LARSSON, S. ÖHMAN:
Influence of an electrode change on reference values for cow serum ionized calcium.
Acta vet. scand. 21, 454-456 (1980)
68. LADENSON, J.H., N.G. BOWERS:
Free calcium in serum. I: Determination with the ion-specific electrode and factors affecting the results.
Clin.Chem. 19, 565-574 (1973)
69. LADENSON, J.H., J.W. LEWIS, J.C. BOYD:
Failure of total calcium corrected for protein, albumin and pH to correctly assess free calcium status.
J.Clin. Endocrin.Metab. 46, 986-993 (1978)
70. LADENSON, J.H., J.W. LEWIS, J.M. McDONALD, J.C. BOYD:
Relationship of free and total calcium in hypercalcaemic conditions.
J. Clin.Endocrin. Metab. 48, 393-397 (1979)
71. LI, T.K., J.T. PIECHOCKI:
Determination of serum ionic calcium with an ion-selective electrode: Evaluation of methodology and normal values.
Clin.Chem. 17, 411-416 (1971)
72. LIESKE, R., E. DEEGEN, J. FISCHER:
Der Einfluß der Lagerungstemperatur und -dauer auf das Verhalten einiger Blutgasparameter im arteriellen Pferdeblut.
Prakt. Tierarzt 62, 477-484 (1981)
73. LINDGÄRDE, F.:
Potentiometric determination of ionized calcium in a normal human population.
Clin. Chim. Acta 40, 477 (1972)

74. LITTLE, W., R. MANSTON:
The effect of feeding maize and lucerne silages on blood composition in dairy cows.
J.Agric. Sci.Camb. 78, 309-314 (1972)
75. LLOYD, H.M. G.A. ROSE:
Ionized, protein-bound, and complexed calcium in the plasma in primary hyperparathyroidism.
The Lancet 1258-1261 (1958)
76. LONG, C.H., D.E. ULLREY, E.R. MILLER, B.H. VINCENT, C.L. ZUTAUT:
Sheep hematology from birth to maturity. III: Serum calcium, phosphorus, magnesium, sodium and potassium.
J.Animal Science 24, 145-150 (1965)
77. McCARRON, D.A., N.N. YUNG, B.A. UGERETZ, S. KRUTZNIK:
Disturbances of calcium metabolism in the spontaneously hypertensive rat.
Hypertension 3 (suppl.1), I 162-I 167 (1981)
78. McLEAN, F.C., A.B. HASTINGS:
Clinical estimation and significance of calcium-ion concentration in the blood.
Am. J.Med.Sci. 189, 601 ff. (1935)
79. McSHERRY, B.J., I. GRINYER:
The pH values, carbon dioxide content, and levels of sodium, potassium, calcium, chloride, and inorganic phosphorus in the blood serum of normal cattle.
Am. J.Vet.Res. 16, 509-510 (1954)
80. MERKER, W., R. HERRMANN:
Ärzt. Wochenschrift 9, 1146 (1954)
81. MEUTEN, D.J., D.J. CHEW, C.C. CAPEN, G.J. KOCIBA:
Relationship of serum total calcium to albumin and total protein in dogs.
JAVMA 180, 63-67 (1982)
82. MEYER, H., U. LEMMER:
Mineralstoff- und Spurenelementgehalt im Serum bzw. Plasma des Pferdes.
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 80, 166-193 (1973)
83. MITSCHKE, V.:
Zur Bestimmung der Blutgas- und Säure-Basen-Verhältnisse beim Hund unter besonderer Berücksichtigung des Vergleichs von Arterien-, Venen- und Kapillarblut.
Vet. Med. Diss., Hannover (1973)
84. MODELL, J.H., F.J. KUCK, B.C. RUIZ, H. HEINITSCH:
Effect of intravenous vs. aspirated distilled water on serum electrolytes and blood gas tensions.
J. Appl. Physiol. 32, 579-584 (1972)

85. MOORE, E.W.:
Ionized calcium in normal serum, ultrafiltrates and whole blood determined by ion-exchange electrodes.
J.Clin.Invest. 49, 318-334 (1970)
86. MORGAN, D.J., P.K. UPTON:
The effect of sampling technique on acid-base balance and other blood parameters in the sheep.
Laboratory Animals 9, 93-98 (1975)
87. MUHLERT, M., M. JULITA, G. QUAMME:
Disappearance of calcium and other electrolytes from microvolume samples.
Am. J. Physiol. 242, F 202-F 206 (1982)
88. NELSON, J.H., D.S. EKINS, S.D. ALLEN:
Blood characteristics of the Holstein calf relevant in cardiopulmonary studies.
J.Appl.Physiol. 37, 145-151 (1974)
89. NETO, J.M.F.:
Calcium, phosphorus and magnesium levels on the blood serum of confined and semi-confined goats.
Arq.Esc.Vet. UFMG Belo Horizonte 32, 41-47 (1980)
90. OLUOKUN, J.A., M.C. BELL, N. RAMSEY, R.S. RITTER:
Plasma calcium and magnesium components in normal and hypomagnesemic cows.
J.Animal Science 49 (suppl.1), 27 (1981)
91. ORESKES, J., C.HIRSCH, K.S. DOUGLAS, S. KUPFER:
Measurement of ionized calcium in human plasma with a calcium selective electrode.
Clin.Chim.Acta 21, 303-313 (1968)
92. ORRELL, D.H.:
Albumin as an aid to the interpretation of serum calcium.
Clin.Chim.Acta 35, 483-489 (1971)
93. PARKER, B.N.J., R.W. BLOWEY:
A comparison of blood from the jugular vein and coccygeal artery and veins of cows.
Vet.Rec. 95, 14-18 (1974)
94. PASCHEN, K.:
Eine neue Mikromethode zum spezifischen Nachweis von Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium in einer einzigen Serumverdünnung.
Deutsche Med. Wochenschrift 95, 2570-2573 (1970)
95. PASCHEN, K.:
Die Bestimmung des Calciums und seiner Fraktionen im Serum.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1975)

96. PASCHEN, K.:
Elektrolytbestimmung mittels ionenselektiver Elektroden.
Das Medizinische Laboratorium 34, 119-124 (1981)
97. PAYNE, J.M., G.J. ROWLANDS, R. MANSTON, S.M. DEW:
A statistical appraisal of results of metabolic profile
tests on 75 dairy herds.
Br. Vet.J. 129, 370-381 (1973)
98. PEDERSEN, K.O.:
The effect of bicarbonate, pCO_2 and pH on serum calcium
fractions.
Scand.J.Clin.Lab. Invest. 27, 145-150 (1971)
99. PETERSEN, N.A.:
Effect of pH on interaction of calcium ions with serum
proteins.
Am. J. Physiol. 201, 386-392 (1961)
100. POULSEN, J.S.D.:
Variations in the metabolic acid-base balance and some
other clinical chemical parameters in dairy herds during
the year.
Nord.Vet.Med. 26, 1-12 (1974)
101. POULSEN, J.S.D., J. SURYNEK:
Acid-base status of cattle blood. Sampling and storage.
Nord.Vet.Med. 29, 271-283 (1977)
102. PRASAD, A.S., E.B. FLINK:
Effect of carbon dioxide on concentration of calcium in
an ultrafiltrate of serum obtained by centrifugation.
J.Appl. Physiol. 10, 103-107 (1957)
103. RAAFLAUB, J.:
Über ein photometrisches Verfahren zur Bestimmung des
ionisierten Calciums.
Z.Physiol.Chem. 288, 228-236 (1951)
104. RADOSTITS, O.M.:
Treatment and control of neonatal diarrhea in calves.
J. Dairy Science 58, 464-470 (1975)
105. RAMAN, A.:
Determination of ionized calcium in serum with a cal-
cium electrode.
Biochemical Medicine 3, 369-375 (1970)
106. REECE, W.O., J.D. WAHLSTROM:
Variations in plasma composition of calves: Relation-
ship of electrolyte, glucose, and urea nitrogen concen-
tration to calf age, ration, and feeding time.
Am. J. Vet.Res. 33, 2175-2178 (1972)

107. REECE, W.O.:
Acid-base balance and selected hematologic, electrolyte and biochemical variables in calves: Milk fed vs. conventionally fed.
Am.J.Vet.Res. 41, 109-113 (1980)
108. ROBERTSON, W.G.:
Measurement of ionized calcium in biological fluids.
Clin.Chim.Acta 24, 149-157 (1969)
109. ROBERTSON, W.G., R.W. MARSHALL:
Calcium measurements in serum and plasma: total and ionized.
CRC Critical Reviews in Clin. Lab.Sci. 271-304 (1979)
110. ROSE, C.A.:
Determination of the ionised and ultrafilterable calcium of normal human plasma.
Clin.Chim.Acta 2, 227-236 (1957)
111. SACHS, Ch., M. BOURDEAU, V. PRESKE:
Ionized calcium measurement in whole blood: a new application of the calcium selective liquid membrane electrode.
Rev.Eur.Etud.clin.biol. 16, 831-837 (1971)
112. SANDHOLM, M., G. JÖNSSON, B. PEHRSON, G. ZEVI:
A new rapid method for determination of blood calcium in cows.
Zbl.Vet.Med. A 26, 411-416 (1979)
113. SCHAEER, H., U. BACHMANN:
Ionized calcium in acidosis, differential effect of hypercapnia and lactic acidosis.
Br. J. Anaesth. 46, 842 (1974)
114. SCHIESSLER, A., H.J. JASTER, Ch. GROSSE-SIESTRUP, V. UNGER, E.S. BÜCHERL:
Normalwerte beim Kalb. Biochemische, hämatologische und gerinnungsphysiologische Werte und Bestimmungen der Flüssigkeitskompartimente.
Zbl.Vet.Med. A 24, 298-310 (1977)
115. SCHWARTZ, H.D., B.C.McCONVILLE, E.F. CHRISTOPHERSON:
Serum ionized calcium by specific ion electrode.
Clin.Chim.Acta 31, 97-107 (1971)
116. SCOTT, D., W. BUCHAN:
Changes in blood composition and urinary mineral excretion in the sheep in response to acute acid-base disturbance.
Res.Vet.Science 31, 43-47 (1981)
117. SCOTT, H.D., G.H. McINTOSH:
Changes in blood composition and in urinary mineral excretion in the pig in response to acute acid-base disturbance.
Quarterly J.Exper. Physiol. 60, 131-140 (1975)

118. SEAMONDS, B., J.TOWFIGHT, D.A. ARVAN:
Determination of ionized calcium in serum by use of an ion-selective electrode. I. Determination of normal values under physiologic conditions with comments on the effects of food ingestion and hyperventilation.
Clin.Chem. 18, 155 (1972)
119. SEYLE, H.:
The evolution of the stress concept-stress and cardiovascular disease. Vol.1: The psychosocial environment and psychosomatic disease. Proceedings of an International Interdisciplinary Symposium, Stockholm.
Edited by Levi, L. (1971)
120. SIEGEL, H.S., L.N. DRURY, W.C. PATTERSON:
Blood parameters of broilers, grown in plastic coops and on litter of two temperatures.
Poultry Science 53, 1016-1024 (1974)
121. SIGGAARD-ANDERSEN, O.:
Sampling and storing of blood for determination of acid-base status.
Scand. J.Clin. & Lab.Invest. 13, 196-204 (1961)
122. SIGGAARD-ANDERSEN, O.:
Acid-base and blood gas parameters: arterial or capillary blood?
Scand.J.Clin. & Lab. Invest. 21, 289-292 (1968)
123. SIGGAARD-ANDERSEN, O., K. ENGEL, K. JØRGENSEN, P.ASTRUP:
A micro method for determination of pH, pCO₂-tension, base-excess and standard bicarbonate in capillary blood.
Scand. J.Clin. & Lab.Invest. 12, 172-176 (1960)
124. SNAPIR, N., M. PEREK:
Comparative studies of blood and uterus calcium levels, alkaline phosphatase and carbonic anhydrase activities in White Leghorn and White Plymouth Rock hens, in relation to shell quality and production rate.
Poultry Science 48, 37-43 (1969)
125. SOLIMAN, M.K.:
Über die Blutveränderungen bei Ratten nach Verfüttern einer Tocopherol- und Ubichinonmangeldiät.
Zbl.Vet.Med. A 20, 624-630 (1973)
126. SOULIER, J.P., J. CROSNIER:
Nouvelle méthode de dosage du calcium ionisé utilisant système coagulant.
Press méd. 66, 617-619 und 825-827 (1958)
127. STÄMPFLI, G., J.L. BÜHLER, P. TSCHUDI:
Hämatologische und klinisch chemische Blutwerte bei Aufzuchttrindern.
Schweizer Archiv f.Tierheilkunde 122, 363-374 (1980)

128. STEWART, E.van., B.B. LONGWELL:
Normal clinical chemical values for certain constituents
of blood of beagle dogs 13±1 months old.
Am. J.Vet.Res. 30, 907-916 (1969)
129. STUDER, O., M. KNOB, U. BINSWANGER:
Kalziumkonzentrationen im Serum.
Schweizer Medizinische Wochenschrift 102, 305-309 (1972)
130. THOMAS, M.L., C.S. ANAST, L.R. FORTE:
Regulation of calcium homeostasis in the fetal and neo-
natal rat.
Am. J. Physiol. 240, E 267-E 272 (1981)
131. TOLLERSRUD, S., B. BAUSTAD, K. FLATLANDSMO:
Effects of physical stress on serum enzymes and other
blood constituents in sheep.
Acta vet.scand. 12, 220-229 (1971)
132. TUMBLESON, M.E., D.P. HUTCHESON:
Effect of maternal dietary protein deprivation on serum
biochemic and hematologic parameters of miniature piglets.
Nutrition Reports International 6, 321-329 (1972)
133. UNSHELM, J., W.H. RAPPEN:
Individuelle tages- und tageszeitabhängige Schwankungen
von Blutbestandteilen beim Rind.
1. Mitteilung: Das Verhalten der Mineralstoffe Natrium,
Kalium, Kalzium, Magnesium und anorganischer Phosphor.
Zbl.Vet.Med. A15, 418-437 (1967)
134. UPTON, P.K., D.J. MORGAN:
The effect of sampling technique on some blood param-
eters in the rat.
Laboratory Animals 9, 85-91 (1975)
135. VAGHER, J.P., B. PEARSON, S. BLATT, M. KAYE:
Biochemical and hematologic values in male Holstein-
Friesian calves.
Am. J. Vet.Res. 34, 273-277 (1973)
136. WAL, P.G. van der, H.G. HULSHOF, G.v. ESSEN:
Changes in the acid-base parameters of venous porcine
blood caused by the period of storage and the method of
sampling.
The Veterinary Quarterly 3, 200-205 (1981)
137. WANDL, M.:
Ein Beitrag zur renalen Elektrolytausscheidung wachsen-
der Mastkälber.
Vet. Med. Diss., München (1975)
138. WHITE, R.D., K.H. HOOPES, S.D. ALLEN:
Comparison of capillary ear blood and arterial blood to
validate capillary sampling as an accurate assay of blood
gas in swine.
Am. J. Vet.Res. 40, 1022-1024 (1979)

139. WRIGHT, G.L., M.A. TORAASOM, L.S. BARBE, W. CROUSE:
The concentrations of ionic and total calcium in plasma
of spontaneously hypertensive rat.
Can. J. Physiol. Pharmacol. 58, 1494-1499 (1980)
140. YENDT, E.R., T.B. CONNOR, J.E. HOWARD:
In vitro calcification of rachitic rat cartilage in normal
and pathological human sera with some observations
of pathogenesis of renal rickets.
Bul. Johns Hopkins Hosp. 96, 1-19 (1955)
141. YOUSSEF, R.R.:
Untersuchungen zum Säure-Basen- und Elektrolythaushalt
bei gesunden und an Durchfall erkrankten neugeborenen
Kälbern.
Vet. Med. Diss., München (1980)
142. ZEISLER, E.B.:
Determination of diffusible serum calcium.
Am. J. Clin. Pathol. 24, 588-593 (1954)

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. M. Merckenschlager und Herrn Dr. K. Kölling für die Anregung zu dieser Arbeit und für die jederzeit gewährte großzügige Unterstützung bei deren Durchführung.

Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. M. Merckenschlager, Herrn Prof. Dr. U. Lösch und Herrn Dr. K. Kölling für die Durchsicht der vorliegenden Arbeit.

Der Medizinischen Klinik der Innenstadt und dem Physiologischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität danke ich für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes.

Für die Unterstützung bei der Gewinnung des Untersuchungsmaterials danke ich dem Physiologischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität, dem Physiologischen Institut der Tierärztlichen Fakultät, dem Institut für Andrologie und künstliche Besamung und dem Institut für Tierhygiene.

LEBENS LAUF

Am 14. Mai 1955 wurde ich als Sohn des Landwirts Stefan Scheibenhoffer und seiner Ehefrau Kreszentia, geb. Bernhart, in Dettishofen geboren.

Von 1962 bis 1966 besuchte ich die Volksschule in Waltershofen und wechselte danach an das Rupert-Neß-Gymnasium in Wangen im Allgäu. 1975 legte ich die Reifeprüfung ab.

Nach Ableistung des Grundwehrdienstes begann ich im Wintersemester 1976/77 an der Freien Universität Berlin mit dem Studium der Tiermedizin. 1978 setzte ich nach dem Physikum mein Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität München fort und beendete es im Dezember 1981. Die Approbation wurde mir im Februar 1982 erteilt.

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1982 - 1983.

